

**Universidad de Valparaíso**

**Facultad de Medicina**

**Escuela de Tecnología Médica**

**“Descripción del equivalente de dosis personal acumulada recibida durante tres meses a nivel del Cristalino del Tecnólogo Médico, al momento de marcar y administrar el radiotrazador en los exámenes del centro de Medicina Nuclear Viña del Mar: Reporte de Caso y Revisión Bibliográfica”**

**Seminario de Grado**

**presentado en conformidad a los requisitos para obtener**

**el Grado Académico de**

**“Licenciado en Tecnología Médica con mención en Imagenología y Física Médica”**

Victoria Sofía Cárdenas Aguirre

Nicol Denise Carrasco Darrouy

**Profesor Guía:** Christhal Jocelyn Oyarzún Véliz

**Profesor Co Guía:** Claudio Opazo Rojas

**Profesor Co Guía:** Victor Torrellas

**Universidad de Valparaíso**

**Facultad de Medicina**

**Escuela de Tecnología Médica**

**“Descripción del equivalente de dosis personal acumulada recibida durante tres meses a nivel del Cristalino del Tecnólogo Médico, al momento de marcar y administrar el radiotrazador en los exámenes del centro de Medicina Nuclear Viña del Mar: Reporte de caso y Revisión Bibliográfica”**

**Seminario de Grado**

**presentado en conformidad a los requisitos para obtener**

**el Grado Académico de**

**“Licenciado en Tecnología Médica con mención en Imagenología y Física Médica”**

Victoria Sofia Cárdenas Aguirre

Nicol Denise Carrasco Darrouy

**Profesor Guía:** Christhal Jocelyn Oyarzún Véliz

**Profesor Co Guía:** Claudio Opazo Rojas

**Profesor Co Guía:** Victor Torrellas

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a mis padres por su incondicional apoyo en los momentos de dificultad y durante toda mi formación académica. También a nuestra profesora guía Christhal Oyarzun, por confiar en nuestras capacidades y prestarnos su incondicional apoyo, y a nuestro profesor co-guía Victor Torrellas por ayudarnos desinteresadamente en el área de la Física Médica. A ellos, y a todos quienes nos cooperaron en alguna medida, muchas gracias.

**Victoria Cárdenas Aguirre**

## RESUMEN

El Cristalino es una estructura transparente, que entrada la vejez desarrolla opacidades conocidas como “cataratas”. Al considerarse uno de los órganos más radiosensibles del cuerpo humano, la formación de éstas puede verse acelerada o agudizada al exponerse a radiación ionizante. Profesionales ocupacionalmente expuestos deben llevar un registro dosimétrico, que describa la dosis que reciben, con el fin de evitar el desarrollo de patologías futuras, como las cataratas.

La finalidad de la presente investigación es describir el equivalente de dosis personal (EDP) a nivel del Cristalino de un profesional ocupacionalmente expuesto (POE), llevándose para esto a cabo un reporte de caso en el área de Medicina Nuclear, el que se complementó con una revisión bibliográfica.

El estudio fue descriptivo y observacional; consistiendo en el seguimiento de una Tecnólogo Médico (TM) del Centro de Medicina Nuclear Viña del Mar, en donde se manipula exclusivamente  $Tc^{99m}$ . El período observacional fue de tres meses, en los cuales la profesional realizó un total de 236 exámenes, con una actividad registrada de 5150,15 mCi y un tiempo de exposición de 59 horas, 2 minutos, 5 segundos.

Mediante el uso de dosímetros termoluminiscentes (TLD) con cristales de Fluoruro de Litio:Mg,Cu,P sólidos, se describió en dos oportunidades el EDP en términos de Hp (3). La primera fue una dosis de 0,64 y 0,41 mSv, correspondiente a los meses de Julio-Agosto y la segunda fue de 0,33 y 0,21 mSv, correspondiente al mes de Septiembre. El total trimestral fue de 0,97 mSv y 0,62 mSv, por anterior y posterior a las gafas plomadas, respectivamente.

Este estudio concluyó que la EDP en el Cristalino de la TM no supera los límites establecidos por organismos nacionales e internacionales, pero sí sobrepasa el menor nivel de registro (0,1 mSv). Por lo tanto, se recomienda llevar a cabo nuevas investigaciones, con parámetros diferentes, como serían la inclusión de centros que involucren mediciones con radionúclidos más energéticos y/o el seguimiento dosimétrico de más profesionales ocupacionalmente expuestos, entre otros.

Palabras clave: Cristalino, Medicina Nuclear, Dosis equivalente personal, TLD.

## ABSTRACT

The eye lens is a transparent structure, that with the pass of the years it develops opacities known as “cataratas”. It’s considered one of the most radiosensitive organs of the human body, that’s why the formation of opacities can be accelerated or exacerbated when it’s exposed to ionizing radiation. Occupational exposed professionals (POE) must be under a dosimetric register, that describes the doses they receive, with the finality of avoiding the development of future pathologies, such as cataratas.

The purpose of the present investigation is describing the personal equivalent dose (EDP) at the level of the POE’s eye lens, making for this a case report in the Nuclear Medicine area, which was complemented with a bibliographic review.

This investigation was descriptive and observational; consisting in the monitoring of a Medical Technologist (TM) of Viña del Mar Nuclear Medicine Center, where is manipulated exclusively Tc<sup>99m</sup>. The observational period was three months, the professional performed a total of 236 exams, with a registered activity of 5150,15 mCi, and an exposition time of 59 hours, 2 minutes and 5 seconds.

By using thermoluminescent dosimeters (TLD) with Fluoride lithium crystals:Mg,Cu,P solids, it was described in two opportunities the EDP in terms of Hp(3). The first one was a dose of 0,64 and 0,41 mSv, corresponding to July-August, and the second one was 0,33 and 0,21 mSv, corresponding to September. The quarterly total was 0,97 mSv and 0,62 mSv, in front and behind the leaded glasses, respectively.

This study concluded the EDP in the TM’s eye lens isn’t over the establish limits by national and international institutions, but it’s over the minor register level (0,1 mSv). Therefore, is recommended making new investigations, with different parameters, such as the inclusion of center which involve more energetic radionuclides measurements and/or the dosimetric monitoring of more occupational exposed professionals, among others.

Key Words: Eye Lens, Nuclear Medicine, Personal Equivalent Dose, TLD.

## ACRÓNIMOS

EDP: Equivalente de Dosis Personal

POE: Profesional Ocupacionalmente Expuesto

TM: Tecnólogo Médico

TLD: Dosímetro Termoluminiscente

MN: Medicina Nuclear

RT: Radiotrazadores

IAEA: International Atomic Energy Agency

ICRP: Comisión internacional de Protección Radiológica.

T99m: Tecnecio 99 metaestable

TC: Tomografía Computada

Mo99: Molibdeno 99

CCHEN: Comisión Chilena de Energía Nuclear

Ci: Curie

Bq: Bequerel

SPECT: Tomografía computada de fotón único

CO: Cintigrama óseo simple

C.OTRI: Cintigrama óseo trifásico

MDP: Metil difosfonato

P.M: Perfusión miocárdica

MIBI: Metoxi-isobutil-isonitrilo

FCMT: Frecuencia cardiaca máxima teórica

DMSA: Ácido dimercapto succínico

DTPA: Ácido diatil tetraamino penta acético

Mag3: Mercapto acetil triglicina

EC: Etil cisteína

CT: Cintigrama Tiroides

I131: Yodo 131

V/Q: Ventilación perfusión pulmonar

MAA: Macroagregados de albúmina

FSCr: Flujo sanguíneo cerebral

ECD: Etil Cisteinato Dimero

HMPAO: Hexametil Propilenoamina Oxima

Gy: Gray

Sv: Sievert

Kair: Kerma en aire

He: Dosis equivalente efectiva

TLE: Transferencia lineal de energía

ALARA: As low as reasonably achievable

OIEA: Organización Internacional de Energía Atómica

CMNVM: Centro de Medicina Nuclear Viña del Mar

CMNVMH: Centro de Medicina Nuclear Viña del Mar del Hospital Clínica

C.Paratiroides: Cintigrama Paratiroides.

Gl.Centinela: Cintigrama Ganglio Centinela

Spect H-E: Specto Hepato-Esplénico

Cs137: Cesio 137

Gl.Centinela: Cintigrama Ganglio Centinela.

Gl.Salival: Cintigrama Glándula Salival

Hem.Digestiva: Hemorragia Digestiva

Vac.Gastrico: Vaciamiento Gástrico

Linfo.Isot: Linfografía Isotópica

Cisto.Iso: Cistografía Isotópica.

Clearence: Clearence Mucociliar

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CAPÍTULO 1 : INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2 MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>3</b>
1.2.1 Radiación Ionizante.....	3
1.2.1.1 Tipos de Radiación Ionizante .....	3
1.2.1.1.1 Radiación ionizante producida en los orbitales atómicos.....	3
1.2.1.1.2 Radiación producida en el núcleo atómico .....	4
1.2.2 Medicina Nuclear .....	5
1.2.2.1 Isótopos Radiactivos .....	5
1.2.2.2 Obtención del Radioisótopo .....	6
1.2.2.3 Marcación del Radioisótopo.....	6
1.2.2.3.1 Marcaje del Kit Frío.....	6
1.2.2.3.2 Marcaje Celular.....	7
1.2.2.4 Extracción de dosis .....	8
1.2.2.5 Administración del radiotrazador.....	9
1.2.2.6 Adquisición de imágenes .....	10
1.2.2.7 Exámenes en Medicina Nuclear.....	11
1.2.2.7.1 Cintigrama Óseo Simple (C.O) .....	11
1.2.2.7.2 Cintigrama Óseo Trifásico (C.O.Tri) .....	11
1.2.2.7.3 Perfusión Miocárdica (P.M) .....	12
1.2.2.7.4 Estudios Renales .....	14
1.2.2.7.5 Cintigrama de Tiroides (CT).....	15
1.2.2.7.6 Cintigrama de Paratiroides .....	15
1.2.2.7.7 Cintigrama de Ventilación y Perfusión pulmonar .....	16
1.2.2.7.8 Cintigrama de Hemorragia Digestiva con Glóbulos Rojos.....	17

1.2.2.7.9	<i>SPECT Cerebral de Perfusión</i> .....	17
1.2.2.7.10	<i>Linfocintigrafía Isotópica (detección del ganglio centinela)</i> .....	17
1.2.2.7.11	<i>Cintigrama de Glándulas Salivales</i> .....	18
1.2.2.7.12	<i>Cintigrama del Vaciamiento Gástrico de Sólidos</i> .....	18
1.2.2.8	<i>Dosimetría en Medicina Nuclear</i> .....	18
1.2.2.8.1	<i>Detectores de radiación</i> .....	19
1.2.3	Unidades y Magnitudes de Radiación .....	21
1.2.3.1	<i>Dosis de importancia biológica</i> .....	22
1.2.3.2	<i>Dosis ambiental</i> .....	23
1.2.4	Efectos Biológicos de las radiaciones ionizantes.....	23
1.2.4.1	<i>Clasificación de los efectos biológicos</i> .....	23
1.2.4.1.1	<i>Efectos estocásticos</i> .....	24
1.2.4.1.2	<i>Efectos determinísticos</i> .....	24
1.2.5	Radiosensibilidad .....	25
1.2.5.1	<i>Factores que influyen en la respuesta celular</i> .....	25
1.2.6	Cristalino.....	26
1.2.6.1	<i>Proliferación celular y Mitosis</i> .....	27
1.2.6.2	<i>Cataratas</i> .....	28
1.2.7	Protección Radiológica.....	29
1.2.7.1	<i>Principios de Radioprotección:</i> .....	29
1.2.7.2	<i>Métodos de Radioprotección</i> .....	29
1.2.7.3	<i>Elementos de Protección Radiológica</i> .....	30
1.2.8	LEGISLACIÓN REGULATORIA .....	30
<b>CAPÍTULO 2 : OBJETIVOS</b> .....		<b>32</b>
<b>2.1</b>	<b>OBJETIVO GENERAL</b> .....	<b>32</b>

<b>2.2</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>32</b>
	<b>CAPÍTULO 3 : MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>33</b>
<b>3.1</b>	<b>TIPO DE ESTUDIO.....</b>	<b>33</b>
<b>3.2</b>	<b>LUGAR DE ESTUDIO .....</b>	<b>33</b>
<b>3.3</b>	<b>VARIABLES .....</b>	<b>33</b>
<b>3.4</b>	<b>FUENTES Y MÉTODOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....</b>	<b>35</b>
3.4.1	Reporte de Caso .....	35
3.4.1.1	<i>Descripción del caso .....</i>	35
3.4.1.2	<i>Recolección de datos.....</i>	38
3.4.1.2.1	<i>Calibración y lectura de TLD .....</i>	38
3.4.1.2.2	<i>Otros instrumentos de medición .....</i>	40
3.4.2	Revisión Bibliográfica.....	41
3.4.2.1	<i>Fuentes de información .....</i>	42
3.4.2.2	<i>Estrategias de búsqueda.....</i>	42
3.4.2.3	<i>Selección de estudios.....</i>	42
3.4.2.4	<i>Búsqueda bibliográfica .....</i>	43
3.4.2.5	<i>Lectura y revisión de los estudios .....</i>	45
3.4.2.6	<i>Características de los estudios incluidos .....</i>	45
3.4.2.7	<i>Estudios excluidos.....</i>	45
3.4.2.8	<i>Extracción de Datos.....</i>	48
3.4.3	Consideraciones Éticas .....	48
	<b>CAPÍTULO 4 : RESULTADOS .....</b>	<b>51</b>
<b>4.1</b>	<b>RESULTADOS REPORTE DE CASO .....</b>	<b>51</b>

4.1.1	Datos obtenidos durante Julio-Agosto 2018.....	51
4.1.2	Datos obtenidos durante Septiembre 2018 .....	52
4.1.3	Datos obtenidos durante el trimestre en estudio .....	52
4.1.4	Zona de administración .....	53
<b>4.2</b>	<b>RESULTADOS REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>54</b>
4.2.1	Países en los que se llevaron a cabo las investigaciones .....	58
4.2.2	Número y duración de los estudios según año de publicación .....	59
4.2.3	Modalidades utilizadas en las investigaciones.....	59
4.2.4	Cantidad y tipo de radionúclidos .....	60
4.2.5	POEs participantes .....	60
4.2.6	Dosimetría en Cristalino y posicionamiento de TLD según investigación .....	60
<b>CAPÍTULO 5 : DISCUSIÓN .....</b>		<b>64</b>
<b>CAPÍTULO 6 : CONCLUSIÓN .....</b>		<b>68</b>
<b>CAPÍTULO 7 : BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>70</b>
<b>CAPÍTULO 8 : ANEXOS .....</b>		<b>86</b>

## INDICE DE TABLAS

TABLA 1.1 <i>Secuencia de procesos para la adquisición de imágenes.</i> .....	10
TABLA 1.2 <i>Dosis máximas propuestas nacional e internacionalmente<sup>68,70</sup></i> .....	31
TABLA 3.1 <i>Porcentajes según exámenes realizados el año 2017 en el CMNVMH.</i> .....	36
TABLA 3.2 <i>Porcentaje de exámenes realizados en el trimestre Julio-Agosto- Septiembre del año 2017 en CMNVMH.</i> .....	37
TABLA 3.3 <i>Buscadores utilizados con su número de resultados con y sin filtro.</i> .....	44
TABLA 3.4 <i>Estudios excluidos y sus motivos de eliminación.</i> .....	45
TABLA 4.1 <i>Datos obtenidos durante los meses de Julio-Agosto 2018.</i> .....	51
TABLA 4.2 <i>Datos obtenidos durante el mes de Septiembre 2018.</i> .....	52
TABLA 4.3 <i>Datos obtenidos durante el trimestre en estudio (Julio-Agosto-Septiembre).</i> .....	53
TABLA 4.4 <i>Porcentajes según lado anatómico usado para administrar.</i> .....	54
TABLA 4.5 <i>Estudios incluidos y sus características.</i> .....	55
TABLA 4.6 <i>Países involucrados en las investigaciones.</i> .....	58
TABLA 4.7 <i>Número y duración de estudios según año de publicación.</i> .....	59
TABLA 4.8 <i>Modalidades de MN en las investigaciones.</i> .....	60
TABLA 4.9 <i>Cantidad y tipo de radionúclidos.</i> .....	60
TABLA 4.10 <i>Dosimetría en Cristalino según estudio.</i> .....	61

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1: a. <i>Radiación característica</i> <sup>7</sup> . b. <i>Radiación de frenado</i> <sup>8</sup> .	4
FIGURA 1.2: <i>Radiación producida en núcleo atómico</i> <sup>9</sup> .....	4
FIGURA 1.3: <i>Marcaje del Kit Frío</i> .....	7
FIGURA 1.4: a. <i>Consola del Activímetro</i> . b. <i>Pozo del Activímetro</i> . .....	8
FIGURA 1.5: <i>Esquema de protocolo de administración en la fase de esfuerzo farmacológico (con dipiridamol)</i> <sup>29</sup> .....	13
FIGURA 1.6: <i>Dosímetro TLD utilizado en el estudio</i> . .....	20
FIGURA 1.7: <i>Detector Geiger Muller</i> .....	21
FIGURA 1.8: <i>Relación de cristalino y otras estructuras oculares</i> <sup>58</sup> . .....	26
FIGURA 1.9: <i>Esquema correspondiente al Cristalino normal de un adulto y su distribución celular</i> <sup>60</sup> ...	28

## CAPÍTULO 1 : INTRODUCCIÓN

Medicina Nuclear (MN) es una especialidad médica con fines diagnósticos y terapéuticos, que se basa en evaluar los aspectos fisiológicos de los pacientes por sobre lo anatómico, utilizando radiación ionizante proveniente de isotopos radioactivos. Estos isotopos se encuentran en fuentes abiertas en forma de radiotrazadores (RT), los cuales son administrados al paciente, generalmente vía endovenosa, aunque también pueden ser administrados vía oral, por inhalación, intratecal, etc.

Los procedimientos en esta área varían de acuerdo con el órgano de interés y sospecha diagnóstica de cada paciente, siendo necesario modificar la actividad administrada en cada caso. La preparación, administración del radiotrazador y toma del examen son realizados por los Tecnólogos Médicos a cargo del servicio de Medicina Nuclear. Estos momentos son parte de la rutina de trabajo y se consideran como los tiempos de mayor exposición a la radiación<sup>1</sup>. Debido a esto es fundamental conocer la dosis que recibe el profesional ocupacionalmente expuesto (POE).

A modo de llevar un registro de la exposición en los profesionales, para que ésta no supere los límites de dosis establecidos por la legislación vigente, se utilizan instrumentos de medición, llamados dosímetros, siendo los más usados los de cuerpo entero y extremidades (anillo y muñeca), dejando a un órgano radiosensible de importancia sin registro, el Cristalino.

Las consecuencias en el Cristalino, producto de la exposición a la radiación ionizante, han sido estudiadas en diferentes ocasiones a nivel mundial por parte de entidades relacionadas con la protección radiológica. Un ejemplo referente han sido los estudios “RELID”<sup>2</sup>, respaldados por la Agencia internacional de energía atómica (IAEA), los cuales después de analizar los componentes visuales de más de 200 médicos radiólogos intervencionistas, llegaron a la conclusión de que la radiación genera una permanente injuria en el campo visual, predisponiendo a patologías crónicas y progresivas, como las Cataratas. Debido a esto, la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), declaró en el año 2011 una disminución del límite de dosis

equivalente al Cristalino de 150 mSv/año a 20 mSv/año como promedio en 5 años, límite que no debe exceder los 50 mSv en un año<sup>3</sup>.

En Chile la ley de radiología vigente data del año 1985, donde se establece un límite de dosis en Cristalino de 30 REM/año<sup>4</sup>, lo que equivale a 300 mSv/año<sup>5</sup>, encontrándose por sobre los rangos actuales recomendados por los organismos internacionales especializados.

Por otra parte, tras una exhaustiva revisión bibliográfica, ha quedado en manifiesto la falta de estudios enfocados a la práctica de la Medicina Nuclear ya que, la mayoría de éstos se basan en los profesionales de Hemodinamia, donde las dosis que se manejan son diametralmente distintas a las obtenidas a partir de exposiciones con radiotrazadores.

Es por lo mencionado anteriormente, y la nula regularización a nivel nacional del límite de dosis en Cristalino, que se propuso realizar esta investigación, para dejar un registro del equivalente de dosis personal a nivel de este órgano.

Para este reporte de caso se tomó como muestra a un Tecnólogo Médico del Centro de Medicina Nuclear de Viña del Mar, el cual cuenta con 8 años de experiencia en el área y realiza de forma rutinaria los exámenes isotópicos más frecuentes a nivel nacional.

## **1.1 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

¿Cuál es el equivalente de dosis personal acumulada recibida durante tres meses a nivel del Cristalino del Tecnólogo Médico, al momento de marcar y administrar el radiotrazador en los exámenes del centro de Medicina Nuclear Viña del mar?

## 1.2 MARCO TEÓRICO

### 1.2.1 Radiación Ionizante

Se denomina radiación a la energía emitida y transferida en el espacio. La radiación ionizante consiste en un tipo de emisión en forma de partícula o fotón, la cual es lo suficientemente energética como para alterar los electrones presentes en los átomos y moléculas de la materia con la cual interactúa. La materia que intercepta o absorbe la radiación se denomina expuesta o irradiada.<sup>6</sup>

#### 1.2.1.1 Tipos de Radiación Ionizante

Las fuentes de radiación ionizante se dividen en naturales y artificiales. Las primeras provienen del Cosmos y la Tierra, por medio de los rayos cósmicos, ciertas rocas terrestres, minerales, alimentos, agua, aire e incluso el cuerpo humano por medio de metabolitos naturales, tales como el Potasio 40. Las segundas se refieren a las generadas por medio de procesos creados por el hombre, por ejemplo, los tubos de rayos X, fuentes radiactivas abiertas y selladas, desechos radiactivos y radioisótopos utilizados en la industria y en aplicaciones médicas<sup>6</sup>.

Existen varios tipos de radiación ionizante: rayos X, alfa, beta, gamma, neutrones. Cada una de éstas con características únicas y particulares. La primera corresponde a la energía generada en los orbitales atómicos, y las últimas cuatro corresponden a la energía emanada desde el núcleo atómico.

##### 1.2.1.1.1 Radiación ionizante producida en los orbitales atómicos

Corresponde a los llamados rayos X y existen dos tipos según su origen:

**Radiación Característica:** Es consecuencia del proceso ocurrido cuando el electrón incidente interacciona con un electrón de la capa más interna (K) de los orbitales atómicos, arrancándolo completamente. Esto da paso a la ionización del átomo colisionado. Como consecuencia, un electrón de la capa más externa salta a la capa más interna, ocupando el puesto libre. Este salto cuántico genera radiación X, la cual es de tipo “Característica”, porque depende de las características específicas de energía de enlace de los electrones del elemento en el cual se genera<sup>7</sup>. (Figura 1.1)

Radiación de Frenado ó Bremsstrahlung: En este caso la partícula es frenada, y pierde su energía cinética al interactuar con el campo nuclear del átomo, convirtiéndose en energía electromagnética en forma de rayos X. Mientras más cerca pase del núcleo, más influencia tendrá sobre el electrón<sup>8</sup>. (Figura 1.1)

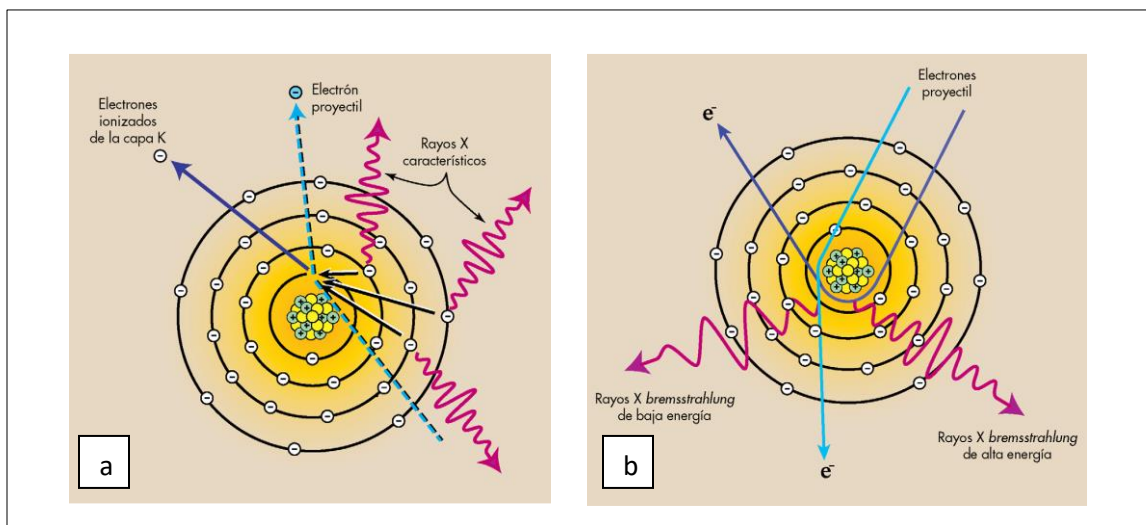


FIGURA 1.1: a. Radiación característica<sup>7</sup>. b. Radiación de frenado<sup>8</sup>.

#### 1.2.1.1.2 Radiación producida en el núcleo atómico

Todo elemento inestable se denomina radioisótopo o átomo radiactivo. Su principal característica es poseer en su núcleo un número de neutrones que resulta escaso o excesivo, lo que los hace “inestables”. El proceso hacia la estabilidad se denomina “decaimiento radiactivo” y consiste en la desintegración del núcleo con la consiguiente liberación energía en forma de radiación<sup>9</sup>.

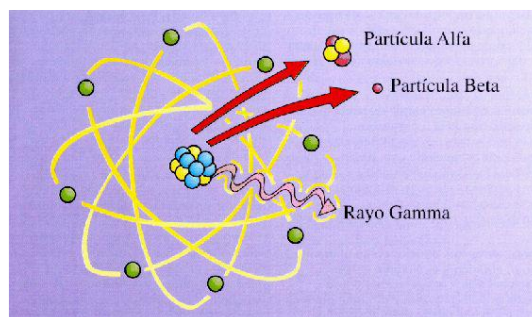


FIGURA 1.2: Radiación producida en núcleo atómico<sup>9</sup>

Un ejemplo de esta radiación es la radiación gamma, la cual es una onda electromagnética del extremo más energético del espectro. Es generada en el núcleo del átomo, la cual es una de las características de las radiaciones emitidas por los radioisótopos utilizados en Medicina Nuclear<sup>10</sup>.

Su poder de ionización es bajo, pero su capacidad de penetración es alta. Sólo materiales densos como el hormigón y el plomo son capaces de detenerla. Los principales daños biológicos están asociados a la piel y tejidos profundos<sup>11</sup>.

### **1.2.2 Medicina Nuclear**

Medicina Nuclear (MN) es una especialidad médica con fines diagnósticos y terapéuticos, que se basa en evaluar los aspectos fisiológicos de los pacientes por sobre lo anatómico, utilizando radiación ionizante provenientes de isotopos radioactivos.

A diferencia de la radiología convencional y la tomografía computada (TC), que utilizan radiación X procedente de una fuente sellada, en MN se emplean fuentes abiertas en forma de radiotrazadores que, generalmente, se administran al paciente vía intravenosa. Este RT se fija en el órgano blanco y emite radiación gamma, la cual es detectada externamente por un equipo llamado Gammacámara. Esta emisión radiactiva sirve de base para formar una imagen que refleja la distribución del radiotrazador en el órgano a estudiar y permite detectar posibles patologías<sup>12</sup>.

#### *1.2.2.1 Isótopos Radiactivos*

Los isótopos son variedades de un mismo elemento que, teniendo el mismo número atómico, poseen distinto número másico. Algunos de los isotopos son capaces de emitir espontáneamente radiación, y por eso se denominan isotopos radiactivos, radioisótopos, radionúclidos o radionucleidos<sup>13</sup>.

Los radionúclidos reúnen dos propiedades que justifican su aplicación clínica:

Sus propiedades químicas son las mismas que las del elemento estable, no radiactivo. Por eso los mecanismos de captación y metabolización en el organismo no se modifican, es decir, su comportamiento biológico es idéntico al de un elemento no radiactivo<sup>13</sup>.

Al desintegrarse los radionúclidos emiten radiación. Esta emisión radiactiva puede ser detectada desde el exterior, permitiendo de este modo conocer la localización y distribución corporal del isótopo<sup>13</sup>.

#### *1.2.2.2 Obtención del Radioisótopo*

Por su origen los radioisótopos pueden ser naturales o artificiales. Todos los isotopos radiactivos utilizados en MN son artificiales y se producen en reactores nucleares o en aceleradores de partículas como el Ciclotrón. La elección de estos se hace en función de varios aspectos, fundamentalmente de sus características físicas, costo y disponibilidad<sup>14</sup>.

En la práctica, el 90% de los estudios que realiza un servicio de MN utiliza como radionúclido el Tecnecio 99 metaestable ( $Tc^{99m}$ ) en forma de Pertecneciato de Sodio, que proviene de la desintegración del Molibdeno 99 ( $Mo^{99}$ ), radioisótopo de fácil acceso y bajo costo<sup>14</sup>.

Por lo general, este radioisótopo se obtiene a través de un proceso llamado elución, desde un generador que se encuentra en mismo servicio de Medicina Nuclear. Lo anterior no aplica a la realidad actual del Centro de Medicina Nuclear de Viña del Mar, ya que se ha optado por un servicio por parte de la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN), el cual realiza entregas diarias de  $Tc^{99m}$ .

#### *1.2.2.3 Marcación del Radioisótopo*

El pertecneciato de sodio por si solo permite realizar estudios en la glándula tiroides, las glándulas salivales, estudios de flujo vascular, entre otros. Pero con frecuencia, para que el radionúclido se dirija al órgano en estudio, es preciso unirlo a una sustancia afín. La unión de ambos, en un proceso denominado marcaje, forma el radiotrazador, también conocido como radiofármaco<sup>15</sup>. Existen dos tipos de radiomarcación:

##### *1.2.2.3.1 Marcaje del Kit Frío*

Los Kits Fríos son preparados de la industria farmacéutica que contiene la molécula que se desea marcar, entre otros componentes que permiten su unión con el radionúclido. Cada kit frío tiene sus propias instrucciones de marcaje que requerirán tiempos de espera diferentes, pero el

resultado será un radiotrazador específico para un tipo de examen. Este RT se encontrará en su contenedor principal y de allí se extraerán dosis para cada paciente (Figura 1.3).

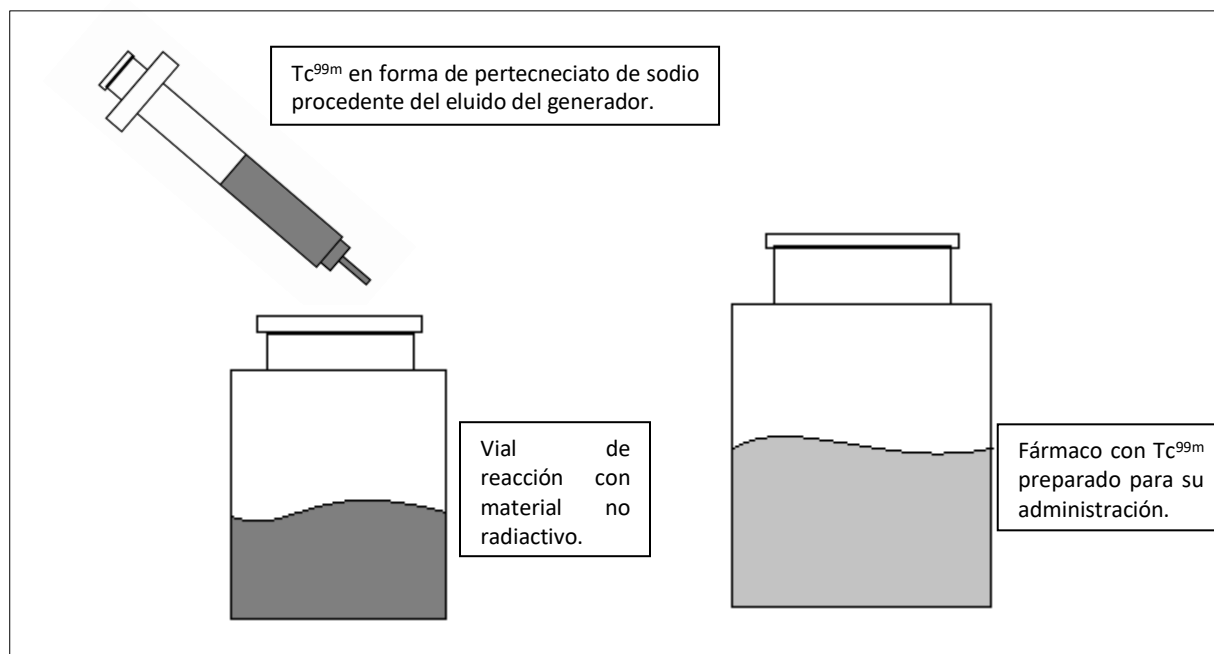


FIGURA 1.3: *Marcaje del Kit Frío*

Fuente: Elaboración propia.

#### 1.2.2.3.2 *Marcaje Celular*

En algunas exploraciones isotópicas utilizan como radiotrazadores células sanguíneas, marcadas con distintos radionúclidos, siendo el más común el Tc<sup>99m</sup>. Los radionúclidos no presentan ningún tipo de selectividad celular, por lo tanto, para marcar un tipo celular determinado es necesario separarlo previamente y después proceder al marcaje. Por ello, en el proceso de marcaje celular se diferencian dos fases: la separación celular y/o el marcaje propiamente dicho. La separación puede ser mediante sedimentación espontánea o inducida, centrifugación, etc. Mientras que la marcación consiste en incubar las células resuspendidas en el radionúclido. Es frecuente utilizar este tipo de marcación para el estudio de hemorragia digestiva, en donde se requiere el marcaje in vitro de hematíes<sup>16</sup>.

#### 1.2.2.4 Extracción de dosis

En Medicina Nuclear los radioisótopos emiten radiación debido a que los núcleos de sus átomos se van desintegrando, el número de desintegraciones por unidad de tiempo se conoce como Actividad radiactiva, por lo tanto, la Actividad es proporcional al número de átomos radioactivos, es decir, la cantidad de radiación. La Actividad tiene como unidad el Curie (Ci) o Bequerel (Bq), y se mide con un equipo llamado Activímetro<sup>17</sup> (Figura 1.4).

Para extraer la dosis que requiere cada paciente, es necesario conocer la Actividad por administrar, la Actividad y volumen del contenedor principal del radiotrazador. La Actividad por administrar se define según el tipo de examen, edad y/o peso del paciente<sup>18, 19</sup>.



FIGURA 1.4: a. Consola del Activímetro. b. Pozo del Activímetro.

Fuente: Elaboración Propia.

Proceso de extracción de dosis:

- a) Conocer la Actividad que requiere el paciente para su examen.

- b) Medir la Actividad del contenedor principal del RT.
- c) Realizar regla de tres simple para calcular el volumen de RT que requiere el paciente.
- d) Extraer el volumen indicado por la regla de tres con una jeringa de 3 o 5 ml según corresponda.
- e) Medir la Actividad de la jeringa que contiene el RT para asegurar que sea la correcta.

#### *1.2.2.5 Administración del radiotrazador*

La forma física y la vía de administración de los radiotrazadores depende del tipo de estudio para el que se van a utilizar. Para los más frecuentes se emplea una forma física de tipo solución verdadera, que se caracteriza por ser una mezcla homogénea, y una vía de administración intravenosa<sup>20</sup>.

Para el procedimiento de administración es fundamental preparar la bandeja con los materiales e insumos necesarios y extraer la dosis de radiotrazador adecuada para cada paciente y examen.

Una vez preparada la bandeja y extraída la dosis, se procede a administrar el radiotrazador al paciente. Este proceso se considera uno de los tres momentos que aportan mayor radiación al POE en un servicio de Medicina Nuclear. Los otros dos procedimientos que aportan una mayor cantidad de radiación son: la preparación del radiotrazador y la realización del examen<sup>20</sup>.

En el caso de los estudios estáticos, después de la administración se espera un tiempo determinado para que el radiotrazador se fije y concentre en el órgano blanco. Al transcurrir este tiempo se procede a adquirir imágenes<sup>20</sup>.

El procedimiento cambia en los estudios dinámicos donde no se espera que el radiotrazador se fije, sino que la toma de imágenes comienza inmediatamente después de la administración. Esto se debe a la necesidad de seguir el movimiento y distribución del radiotrazador durante la adquisición, por ejemplo, en los estudios de hemorragia digestiva donde se busca la localización topográfica de la lesión<sup>21</sup>.

### 1.2.2.6 Adquisición de imágenes

La imagen obtenida mediante técnicas de Medicina Nuclear se denomina Gammagrafía. Una Gammagrafía es el registro gráfico de la distribución corporal de la radiactividad emitida por un radiotrazador fijado y metabolizado en un órgano<sup>21</sup>.

Los estudios de Medicina Nuclear se pueden clasificar según el estado cinético del trazador durante la adquisición de las imágenes, pudiendo ser estáticos o dinámicos, o en función de la representación anatómica de la imagen, siendo planar o tomográfica<sup>22</sup>. Siendo la primera la más utilizada con imágenes en planos anteriores, posteriores, laterales y oblicuos. Mientras que una imagen tomográfica en MN se conoce como SPECT (tomografía computarizada por emisión de fotón único).

El protocolo de adquisición de imágenes varía en cada órgano, sistema o grupo patológico, pero básicamente hay una secuencia común de procesos (Tabla 1.1).

TABLA 1.1 *Secuencia de procesos para la adquisición de imágenes.*  
Fuente: Elaboración Propia.

1	Preparación previa del paciente
2	Elución
3	Marcaje (preparación del RT)
4	Administración del RT
5	Tiempo de espera
6	Instrumentación: preparación del equipo necesario.
7	Adquisición de imágenes.
8	Procesado de imágenes
9	Visualización y presentación de imágenes.
10	Archivo de imágenes.

### *1.2.2.7 Exámenes en Medicina Nuclear*

En esta especialidad es posible realizar una gran variedad de exámenes, según el órgano o sistema en estudio. Los más solicitados corresponden a los efectuados sobre el Sistema Osteoarticular y el Sistema Cardiovascular, que representan aproximadamente el 45 a 60% del total de exámenes en un Servicio de Medicina Nuclear<sup>23, 24</sup>. Los estudios más frecuentes en el Hospital Clínico Viña del Mar se presentan a continuación.

#### *1.2.2.7.1 Cintigrama Óseo Simple (C.O)*

Es el examen que se realiza con mayor frecuencia en el servicio de Medicina Nuclear, representando alrededor del 30-40% de la totalidad de las exploraciones in vivo. El radiotrazador más utilizado es el Tc<sup>99m</sup>-MDP (metil difosfonato) con una dosis recomendada de 25 - 30 mCi en adultos y 0,28 mCi/kg para pacientes pediátricos. Esta se administra vía intravenosa sin requerir cuidados especiales, y después de un tiempo de espera de 2 horas se procede a la adquisición de imágenes. El objetivo de esta espera es darle el tiempo necesario al radiotrazador para que sea adsorbido por los cristales de hidroxapatita de calcio del tejido óseo<sup>25</sup>.

Este estudio se indica principalmente es para el seguimiento de pacientes oncológicos con riesgo de metástasis óseas<sup>23</sup>.

#### *1.2.2.7.2 Cintigrama Óseo Trifásico (C.O.Tri)*

En caso de sospecha de patología tumoral, infecciosa o necrosis isquémica, además de la clásica imagen obtenida en el CO simple, es útil valorar la llegada por vía sanguínea y la captación inicial del radiotrazador por el hueso. Este estudio utiliza la misma actividad y forma de administración que el CO simple, pero se diferencia porque consta de tres fases. La primera fase llamada angiogramagrafía ósea, comienza inmediatamente después de la administración del RT, con una exploración dinámica del flujo sanguíneo en la zona a analizar. Después, en los 5 a 10 minutos post administración se adquieren imágenes estáticas para valorar la captación inicial del hueso en una fase conocida como precoz o pool vascular. Finalmente, a las 2 a 4 horas se procede con la fase tardía para valorar la captación ósea máxima<sup>26</sup>.

Tanto para el cintigrama óseo simple como para el trifásico, si el estudio planar no es resolutivo, es útil un SPECT óseo. Este se realiza con poca frecuencia, fundamentalmente cuando hay lesiones en columna vertebral y/o pelvis<sup>26</sup>.

#### *1.2.2.7.3 Perfusión Miocárdica (P.M)*

Es uno de los estudios cardiológicos que se realizan en el área de Medicina Nuclear, los cuales representan alrededor del 15-20% de las exploraciones, ocupando el segundo puesto en solicitudes tras los Cintigramas Óseos. El radiotrazador utilizado en la actualidad es el Tc<sup>99m</sup>-MIBI (metoxi-isobutil-isonitrilo), el cual es captado en las células miocárdicas por difusión pasiva en sus mitocondrias<sup>27</sup>.

Este estudio se indica para evaluar el flujo coronario regional, mediante la vasodilatación de las arterias coronarias. Aquellas dañadas no son capaces de dilatarse, evidenciándose mediante una hipocaptación del radiotrazador en la zona afectada. El estudio es de forma no invasiva, en condiciones de reposo y esfuerzo, pudiendo ser este último con ejercicio físico o farmacológico, generalmente con dipiridamol. Este fármaco actúa en el eje de la adenosina a nivel vascular, la cual es una vasodilatadora endógena. El dipiridamol produce un aumento de la molécula adenosina a nivel extracelular, provocando una vasodilatación máxima del músculo liso arterial a los cinco minutos post administración endovenosa. Sus efectos pueden persistir hasta 30 minutos posteriores a su peak arterial, por lo cual, si el paciente al finalizar el examen, presenta malestares como dolor de cabeza, presión en el pecho, dificultad al respirar, entre otros, se recomienda la administración de aminofilina, el cual es un fármaco antagonista al dipiridamol, por lo que su administración interviene en el eje de la adenosina disminuyendo su acción vascular. Se deben tener en consideración los efectos adversos de la aminofilina, que pueden llegar a ser sintomáticos en el 80% de los pacientes, la mayoría siendo dolor torácico y disnea. Para disminuir estos síntomas se recomienda una administración lenta<sup>28</sup>.

Ya que este estudio consta de dos fases, estas se pueden realizar el mismo día o en dos días consecutivos, diferenciándose por la Actividad administrada en la primera etapa. Si se realizan ambas fases en un día se recomienda una dosis de 10 mCi para la primera etapa y 30 mCi en la

segunda, si se opta por hacer las fases en dos días se administra una dosis de 30 mCi en ambas fases<sup>29</sup>.

Administración del radiotrazador;

- Para el estudio de reposo: Se administra la dosis, a través de la vía venosa, sin ningún tipo de cuidado especial.
- Para esfuerzo ergométrico: Se administra la dosis al alcanzar la frecuencia cardiaca máxima teórica ( $FCMT \geq 85\%$ ), manteniéndose ésta durante 1 a 2 min. si es posible.
- Esfuerzo con dipiridamol: Se administra este vasodilatador durante 4 min., del minuto 6 al 10 se procede con el handgrip (presionando una pelota de goma), al minuto 8 se inyecta la dosis. Al minuto 12, si es necesario se administra aminofilina para aliviar los síntomas del esfuerzo (Figura 1.5).

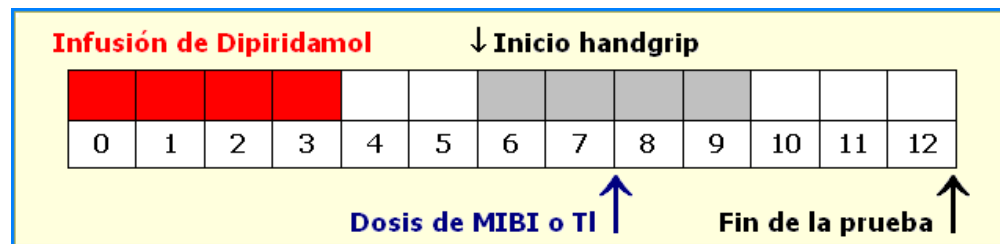


FIGURA 1.5: Esquema de protocolo de administración en la fase de esfuerzo farmacológico (con dipiridamol)<sup>29</sup>

Adquisición Perfusión Miocárdica:

- Comienzo protocolo de dos días:
  - 1° 30-45 min post- dosis de RT (en ambas fases).
- Comienzo protocolo de un día:
  - 1° Tiempo de espera 30-45 min post-primera dosis de RT.
  - 2° Tiempo de espera 2-3 horas para administración de segunda dosis.
  - 3° Tiempo de espera 30-45 min para adquirir imágenes post-segunda dosis de RT.

#### 1.2.2.7.4 Estudios Renales

Los estudios isotópicos del riñón y la vía urinaria representan, aproximadamente, del 5 al 10% de las exploraciones de imagen de un servicio de Medicina Nuclear, y ocupan el primer lugar en frecuencia de edad pediátrica. Entre los estudios renales destacan el Cintigrama Renal y el Renograma Isotópico, los cuales se detallan a continuación<sup>30</sup>.

##### Cintigrama Renal DMSA

Corresponde a un examen estático que utiliza ácido dimercapto succínico ( $Tc^{99m}$ - DMSA) como radiotrazador, con una dosis recomendada de 3 mCi en adultos y 50 uCi/kg en pacientes pediátricos. Este se incorpora, a través de una vía intravenosa, a las células tubulares y se fija en la corteza en forma proporcional a la función renal, permitiendo obtener una imagen anatomo funcional de la corteza renal. Se indica principalmente para la detección de infecciones urinarias altas y malformaciones o malposiciones renales<sup>31</sup>.

##### Renograma Isotópico con DTPA, Mag3, EC.

Este examen dinámico utiliza radiotrazadores aclarados de la circulación sanguínea casi exclusivamente por el riñón. Se administran vía intravenosa en forma de bolo, con el paciente colocado bajo cámara para una adquisición inmediata de imágenes secuenciales. Este estudio permite ver funcionamiento de los riñones, a través del estudio de tres fases: vascular, parenquimatosa y eliminación<sup>32</sup>. Los radiotrazadores más utilizados son:

El tradicional ácido dietil tetraamino penta acético (DTPA), es filtrado a nivel glomerular, por lo que su cinética se altera sensiblemente en caso de insuficiencia renal. Se recomienda una dosis de 10 mCi en adultos y 200 uCi/kg en pacientes pediátricos<sup>33</sup>.

Mercapto acetyl triglicina (MAG3) y Etil cisteína (EC), son básicamente secretado a nivel tubular y tienen una depuración fisiológica más rápida, especialmente EC, por lo cual se les prefiere en el caso de niños menores de 1 año, pacientes transplantados renales, pacientes con algún grado de

insuficiencia renal y sospecha de obstrucción pieloureteral<sup>34</sup>. Para MAG3 se recomienda una dosis de 3 mCi en adultos y 100 uCi/kg de peso en niños

#### 1.2.2.7.5 *Cintigrama de Tiroides (CT)*

Las exploraciones al órgano tiroideo se indican principalmente para la evaluación de bocios, quistes tiroglosos y tumores de cuello de origen indeterminación<sup>29</sup>. Se basan en la capacidad de la tiroides en concentrar la mayor parte del yodo corporal, necesario para la síntesis de hormonas tiroideas, lo que ofrece una alta selectividad en la captación de los radionúclidos. Los radionúclidos más utilizados en el área de Medicina Nuclear son el I<sup>131</sup> y Tc<sup>99m</sup> en forma de pertechnetato de sodio, este último ya que sigue una ruta similar al yoduro por tener una carga y un radio molecular similar a este. Lo anterior permite administrar estos radioisótopos sin ser marcados previamente<sup>35</sup>.

En el Hospital Clínico Viña del Mar se utiliza únicamente el Tc<sup>99m</sup> para este tipo de examen, aunque actualmente se cuenta con la autorización para trabajar con I<sup>131</sup> de forma ambulatoria. Las dosis recomendadas son de 8 mCi según peso del paciente, inyectados por vía intravenosa sin requerir cuidados especiales, procediendo después de 20-30 min a la adquisición de imágenes<sup>36</sup>.

#### 1.2.2.7.6 *Cintigrama de Paratiroides*

Este examen se indica ante la existencia de un hiperparatiroidismo, cuadro casi siempre provocado por un adenoma, por lo que tiene como objetivo el diagnóstico y localización de un adenoma paratiroideo o glándulas hiperplásicas<sup>37</sup>.

El radiotrazador utilizado es el <sup>99m</sup>Tc-MIBI, el cual se distribuye inicialmente en tiroides y paratiroides normales, pero en un lapso de 2-3 horas se elimina la actividad de los tejidos normales, quedando retenido el trazador por los tejidos con elevada tasa metabólica. La dosis recomendada es de 15 mCi, administrada vía intravenosa sin requerir cuidados especiales, a los

15 minutos se procede a la primera adquisición de imágenes, repitiéndose 2 hrs post-inyección con fines comparativos<sup>29</sup>.

#### *1.2.2.7.7 Cintigrama de Ventilación y Perfusión pulmonar*

El estudio combinado de ventilación y perfusión (V/Q) determina el grado de éxito de la función respiratoria. Se realiza fundamentalmente ante la sospecha clínica de tromboembolismo pulmonar<sup>38</sup>.

#### Cintigrama de Ventilación Pulmonar

Es la primera fase del estudio y su objetivo es evaluar la función ventilatoria de los pulmones, esto se logra administrando <sup>99m</sup>Tc-FITATO por inhalación, con una dosis recomendada de 25 mCi en adultos o 15 mCi en pacientes pediátricos. Las partículas de radioaerosol, administradas con un micronebulizador durante 4 min, alcanzan los bronquiolos terminales y alvéolos de forma tal que la captación pulmonar es proporcional a la ventilación regional del pulmón. La adquisición de imagen comienza inmediatamente después de la inhalación<sup>29</sup>.

#### Cintigrama de Perfusión Pulmonar

Es la segunda fase del estudio y su objetivo es valorar la distribución del flujo sanguíneo en los pulmones, esto se logra administrando macroagregados de albúmina (<sup>99m</sup>Tc-MAA) por vía intravenosa, con una dosis recomendada de 7 mCi en adultos. Inmediatamente después de la inyección se procede a la adquisición de imágenes.

Este radiotrazador, que es administrado en bolo y sin mezclar con sangre, queda atrapado en el árbol capilar pulmonar, por lo que la actividad emitida refleja el grado y distribución del aporte sanguíneo<sup>39</sup>.

#### 1.2.2.7.8 *Cintigrama de Hemorragia Digestiva con Glóbulos Rojos*

Es un tipo de exploración que permite detectar y localizar hemorragias digestivas intermitentes. Se basa en evidenciar la extravasación del radiotrazador en el sitio de sangrado<sup>29</sup>.

El radiotrazador utilizado en este examen son glóbulos rojos marcados con Tc<sup>99m</sup> (in-vitro), inyectados vía intravenosa con una dosis recomendada de 20 mCi en adultos. La adquisición de imágenes comienza inmediatamente después de la administración de la Actividad, primero adquiriendo imágenes durante 60 minutos y después con controles a las 2, 4, 6 y 24 horas<sup>29</sup>.

#### 1.2.2.7.9 *SPECT Cerebral de Perfusión*

Las exploraciones neurológicas no representan más del 1-2% del total de estudios de imagen solicitados al servicio de Medicina Nuclear. Esta exploración utiliza radiotrazadores liposolubles que atraviesan la barrera hemato encefálica intacta y se localizan en el tejido cerebral en relación proporcional al flujo sanguíneo (FSCr). Las alteraciones del FSCr se traducen en cambios metabólicos o reflejan patología cerebrovascular<sup>40 29</sup>. Los radiotrazadores más utilizados son:

- Tc<sup>99m</sup>- ECD (etil-cisteinato-dimero), con una dosis recomendada de 25 a 30 mCi en adultos y 430 uCi/kg. (mínimo 3 mCi) en pacientes pediátricos.
- Tc<sup>99m</sup>- HMPAO (hexametil-propilenoamina-oxima), con una dosis recomendada de 25 mCi en adultos.

Previo a la administración se instala una vía intravenosa y se recuesta al paciente en un lugar tranquilo, indicándole que permanezca inmóvil, relajado y que no hable unos 15 min. Se inyecta el radiotrazador y se deja al paciente en decúbito en las mismas condiciones aproximadamente 5 min, luego se retira la vía y la adquisición de imagen comienza 60 min. post- administración<sup>29</sup>

#### 1.2.2.7.10 *Linfocintigrafía Isotópica (detección del ganglio centinela)*

Este examen estudia la distribución de un trazador en los vasos y ganglios linfáticos. Para su realización se utilizan radiotrazadores no difusibles, como partículas coloidales marcadas (<sup>99m</sup>Tc-nanocoloide), que serán posteriormente aclaradas por los ganglios linfáticos más cercanos. Se

utiliza principalmente para el estudio del ganglio centinela, considerado el primer ganglio linfático de una cadena linfática que drena un territorio ocupado por un tumor. Se recomienda una dosis de 2 mCi, administrada vía subcutánea en la zona a explorar. La adquisición de imágenes comienza 20 minutos después de la administración del radiotrazador<sup>41</sup>.

#### *1.2.2.7.11 Cintigrama de Glándulas Salivales*

Este estudio dinámico permite evaluar tanto diferencias anatómicas como funcionales y se basa en la capacidad de las glándulas salivales de concentrar un radiotrazador y, posteriormente, secretarlo a la cavidad bucal. Como radiotrazador se utiliza el Tc<sup>99m</sup> en forma de pertechnetato de sodio, y se administra vía endovenosa con una dosis recomendada de 5-15 mCi<sup>42</sup>. La adquisición de imágenes comienza inmediatamente después de la administración y, a los 20 minutos, al alcanzar el punto de máxima actividad, se coloca en la boca del paciente unas gotas de jugo de limón para provocar la liberación de la saliva<sup>29</sup>.

#### *1.2.2.7.12 Cintigrama del Vaciamiento Gástrico de Sólidos*

El estudio del vaciamiento gástrico mediante isótopos radiactivos es la prueba estándar aceptada para la evaluación del tránsito gástrico. Se basa en la administración oral de una comida marcada con un radiotrazador y en la obtención de imágenes que muestren como se vacía el estómago.

La incorporación del radiotrazador (<sup>99m</sup>Tc-sulfuro coloide) se realiza mezclándolo con un huevo a medida que este se va cocinando, para formar un sándwich de huevo revuelto que se le pide al paciente que ingiera en no más de 5 min. La adquisición de imágenes estáticas comienza inmediatamente después de la ingesta, específicamente a los 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 y 120 min. La dosis recomendada es de 1 mCi<sup>29</sup>.

#### *1.2.2.8 Dosimetría en Medicina Nuclear*

La dosimetría es una técnica de vigilancia radiológica. Permite conocer la dosis de radiación ionizante recibida por el profesional ocupacionalmente expuesto, áreas de trabajo, entorno y pacientes, permitiendo verificar que las prácticas laborales sean las adecuadas para la protección de la salud<sup>43</sup>.

### 1.2.2.8.1 Detectores de radiación

#### Dosímetros

Registran la dosis recibida por el POE en un tiempo determinado<sup>43</sup>.

Los dosímetros se pueden clasificar según su lectura: los de lectura directa, los cuales entregan la dosis recibida en tiempo real, y los de lectura indirecta, los cuales deben pasar por un proceso físico para conocer su medida<sup>44</sup>.

Dentro de ambas clasificaciones existen cuatro tipos de dosímetros mayormente cotizados en el mercado<sup>44</sup>.

a) Dosímetro de lectura directa:

Dosímetros electrónicos: Se componen de detectores de diodos de silicio, los cuales detectan fotones sobre los 30 keV y partículas beta. Son capaces de indicar de manera instantánea la dosis recibida por el POE<sup>44</sup>.

b) Dosímetro de lectura indirecta:

b.1) Dosímetro de fotoluminiscencia: La radiación ionizante incide en cristales de fosfato con impurezas de plata, los cuales posteriormente son expuestos a luz ultravioleta, entregando su lectura de dosis. El proceso de lectura del dosímetro no borra el registro del instrumento, por lo cual no pueden ser reutilizados<sup>44</sup>.

b.2) Dosímetros de estimulación óptica: Su componente principal es el óxido de aluminio dopado con carbón. El principio físico del dosímetro es similar a los TLD, ya que la exposición a la radiación produce que los electrones del material se muevan dentro de trampas meta-estables. Para la posterior lectura se utiliza una luz láser que escanea y estimula los electrones atrapados, generando una luz proporcional a la dosis recibida por el dispositivo<sup>44</sup>.

b.3) Dosímetro termoluminiscente: La radiación ionizante incide sobre los electrones libres de un mineral en particular, quedando atrapados en los defectos de la estructura cristalina. En el posterior proceso de lectura, cuando este material es calentado, los electrones escapan como termoluminiscencia. La intensidad de la luz liberada va a tener relación directa con la exposición a la cual se sometió el material, por lo tanto, será representativo de la dosis registrada<sup>44</sup>. (Figura 1.6)



FIGURA 1.6: *Dosímetro TLD utilizado en el estudio.*

Fuente: Elaboración propia.

En general, para que la posterior lectura de los distintos tipos de dosímetros sea fidedigna, el profesional debe tener la precaución de mantenerlo en un lugar sin humedad, lejos de radiaciones ionizantes, evitando caídas y golpes<sup>43</sup>.

### Detectores ambientales

Son instrumentos de barrido y detección de radiación en superficies de trabajo, suelo, ropa, piel y otras superficies. El resultado cuantitativo depende del tipo de radiación y de la sensibilidad del dispositivo utilizado<sup>45</sup>.

La transportabilidad de los detectores ambientales depende de los usos previstos. Para vigilancia general de superficies del laboratorio, es recomendable el uso de instrumentos portátiles. En cambio, si el detector es para una aplicación específica, y el elemento a supervisar se puede llevar hasta el instrumento, por ejemplo, monitores de ropa y calzado, la transportabilidad no es necesaria<sup>45</sup>.

Con la finalidad de cuantificar la ionización causada por las radiaciones, uno de los primeros detectores empleados en Física Nuclear fue la Cámara de Ionización. Este instrumento está conformado por un recipiente cerrado que contiene un gas y dos electrodos con potenciales eléctricos diferentes<sup>10</sup>.

De estos detectores basados en la ionización gaseosa, el más utilizado y versátil es el Geiger-Muller, creado el año 1928 (Figura 1.8). Este instrumento posee un tubo detector lleno de gas o mezcla de gases de baja presión, y sus electrodos están conformados por una delgada pared metálica del tubo y un alambre fino volframio ubicado longitudinal en su eje<sup>10</sup>.

Su funcionamiento se basa en un fuerte campo eléctrico entre ambos electrodos, lo cual acelera los iones producidos por la radiación. Estos colisionan con los átomos del gas, liberando electrones y produciendo más iones. Si la tensión entre ambos electrodos se hace suficientemente grande, la corriente producida por una única partícula desencadena una descarga a través del contador. El pulso causado por cada partícula se amplifica electrónicamente, lo cual se expresa a través de un altavoz o un contador mecánico o electrónico, permitiendo cuantificar la ionización producida por la radiación detectada<sup>10</sup>.



FIGURA 1.7: *Detector Geiger Muller*

Fuente: Elaboración propia.

### 1.2.3 Unidades y Magnitudes de Radiación

La radiación es imperceptible a los sentidos humanos, pero sí es posible caracterizarla y evaluar los efectos que esta podría generar. Para esto se consideran distintos tipos de dosis, cada una con

ciertas características, magnitudes y medidas establecidas según convenciones internacionales, estipulados y publicados por entes de referencia mundial, como es el caso del ISO31.9 y el 31.10, publicados en 1992 por el “Sistema Internacional de Magnitudes”, y que entregan información especial sobre las medidas en física nuclear y atómica<sup>46</sup>.

### *1.2.3.1 Dosis de importancia biológica*

#### Dosis absorbida (D)

Cantidad de energía media depositada en una masa irradiada. Se mide en Gray (Gy).

#### Dosis efectiva (E) o Dosis Equivalente Efectiva (He)

Considera el tipo de radiación y al órgano al cual se irradia. Resulta de la sumatoria de la dosis equivalente de un órgano por el factor de ponderación del órgano específico. Se mide en Sievert (Sv)<sup>46</sup>.

#### Dosis equivalente (Ht)

Describe el efecto de la radiación en tejidos vivos específicos<sup>47</sup>. Se define a partir de la dosis absorbida, pero teniendo en cuenta la calidad y tipo de la radiación utilizada como factor de ponderación. Su unidad actual es el Sievert (Sv), utilizándose con anterioridad el rem<sup>48</sup>. (pag 16: protección radiológica minsal).

#### Equivalente de dosis personal (Hp(d))

Es una magnitud de tipo operacional, considerada como un “equivalente de dosis en tejido blando”, el cual es representado por una esfera denominada “esfera ICRU”. Esta magnitud es considerada a una profundidad “d”, por debajo de un punto específico del cuerpo humano, según la posición en la cual se porta el dosímetro individual. Su unidad es el sievert (Sv)<sup>49</sup>. Las magnitudes más utilizadas son Hp (10) que indica que se porta el dosímetro personal sobre el pecho, a la altura del esternón, Hp (0,07) en extremidades y Hp (3) a altura del Cristalino<sup>50</sup>.

### 1.2.3.2 *Dosis ambiental*

Para la vigilancia ambiental y de área se utilizan comúnmente dos conceptos:

#### Dosis equivalente ambiental ( $H^*(10)$ )

Utilizada para radiaciones muy penetrantes. Corresponde a un punto en el campo de radiación, producido por el correspondiente campo alineado en la esfera ICRU, a una profundidad de 10 mm, y sobre el radio opuesto a la dirección del campo alineado. Su unidad es  $Jx\ Kg^{-1}\ Sv^{49}$ .

#### Dosis equivalente direccional ( $H'(0,07)$ )

Utilizada para radiaciones poco penetrantes. Corresponde a un punto en el campo de radiación, en donde la dosis equivalente será producida por el correspondiente campo expandido de la esfera ICRU, a una profundidad de 0,07 mm y sobre un radio de dirección especificada<sup>51</sup>.

## **1.2.4 Efectos Biológicos de las radiaciones ionizantes**

El proceso de ionización supone necesariamente cambios en átomos y moléculas, estos, aunque sólo sean de forma transitoria, a veces puede dañar a las células. Si se producen daños celulares y no se reparan adecuadamente, puede ocurrir que las células afectadas mueran o se vea impedida su reproducción, o bien que se origine una célula viable, pero modificada. Ambos extremos tienen implicancias profundamente distintas para el organismo<sup>52</sup>.

### 1.2.4.1 *Clasificación de los efectos biológicos*

Los efectos de la radiación pueden clasificarse desde diferentes puntos de vista<sup>53</sup>:

- Según la radiación recibida y los efectos producidos: estocásticos y determinísticos.
- Según el tiempo de manifestación de los efectos: tempranos o tardíos.
- Según la aparición de los efectos en el individuo expuesto o en sus descendientes: somáticos o hereditarios.

Para los fines de la investigación es importante profundizar en los efectos estocásticos y determinísticos.

#### *1.2.4.1.1 Efectos estocásticos*

Se caracterizan por no poseer una dosis umbral, es decir, no existe un nivel de dosis determinado en el cual es esperable que se presenten. Al ser un efecto de tipo probabilístico, la probabilidad de que ocurran aumenta con la cantidad de dosis recibida, pero la intensidad del efecto, una vez producido, no depende de esa cantidad de radiación<sup>53</sup>.

Ocurren cuando una célula, en vez de morir al ser irradiada, sobrevive con una alteración de su genoma. Estos efectos se denominan “estocásticos”, es decir de naturaleza aleatoria o estadística. Si la transformación se produce en una célula cuya función es transmitir información genética a generaciones posteriores (célula germinal en gónadas) el efecto de variado tipo y gravedad se expresará en la descendencia de la persona expuesta. Este tipo de efecto estocástico se denomina “hereditario”. Si en cambio la transformación ocurre en una célula somática podría dar lugar, luego de un largo período de latencia, a la inducción de un cáncer<sup>52</sup>.

#### *1.2.4.1.2 Efectos determinísticos*

Son aquellos que poseen un umbral de dosis, es decir se sabe a qué dosis aparecen efectos determinados. Además, se caracterizan por ser tempranos y el nivel de daño es causado directamente por la cantidad de dosis recibida<sup>53</sup>.

Ocurren cuando ha habido una pérdida de función tisular, usualmente como resultado de muerte celular o pérdida del potencial mitótico. El número de células afectadas aumenta rápidamente con la dosis, y el daño de la función tisular se hace evidente por encima de una dosis umbral, la cual es específica para cada tejido, pero para la mayoría de los tejidos, las dosis umbrales van desde unos pocos Grays administrados como una única dosis, hasta 0.5 Gy/año para exposiciones fraccionadas<sup>53</sup>.

Los tejidos más sensibles para efectos determinísticos son:

- La médula ósea, cuyo efecto se puede expresar con una pancitopenia (depresión de todos los tipos celulares), resultando en hemorragias, infecciones o anemia del individuo irradiado.
- Los testículos, cuyo efecto se puede expresar con una esterilidad temporal de uno o dos años y un daño genético hereditario, que se presentaría en su descendencia.
- El Cristalino del ojo, el cual, a bajas dosis, puede sufrir un daño significativo al desarrollar cataratas (opacificación definitiva del Cristalino). El período de latencia es de 2 a 35 años<sup>54</sup>.

### 1.2.5 Radiosensibilidad

En 1906, los científicos franceses Bergonié y Tribondeau, observaron y propusieron que la radiosensibilidad del tejido irradiado depende del estado metabólico del mismo. Este principio se aplica actualmente, y se conoce como la “Ley de Bergonié – Tribondeau”, y establece los siguientes criterios<sup>55</sup>:

- Mientras más madura la célula, mejor resiste la radiación. (Excepto los linfocitos maduros).
- Órganos y tejidos más jóvenes son más radiosensibles.
- Con una tasa de actividad metabólica elevada, más radiosensibilidad.
- Mayor tasa de proliferación celular, mayor radiosensibilidad.

#### 1.2.5.1 Factores que influyen en la respuesta celular

##### Factores Físicos<sup>55</sup>:

Dosis total depositada en el tejido irradiado: Mientras mayor sea, más iones y radicales libres son generados, lo que conlleva a mayor probabilidad de ocurrencia de efectos en la materia.

- a) Tasa de dosis: Cuanto mayor sea la velocidad de administración de dosis en el tejido, menos tiempo para que se produzca su reparación.
- b) Transferencia lineal de energía (TLE): Es la capacidad de la radiación de ceder energía cinética a través de su paso longitudinal. Mientras mayor carga, y menor velocidad, mayor probabilidad de generar ionizaciones en la materia adyacente.

### Factores químicos<sup>56</sup>:

- a) Radiosensibilizadores: Propician el efecto de la radiación. El oxígeno es el más importante de ellos, y además potencia la formación de radicales libres y peróxidos.
- b) Radioprotectores: Aminoran los efectos de la radiación. Son muy importante para la radioprotección los ambientes celulares reductores. Un organelo encargado de esto es la mitocondria.

### Factores biológicos<sup>56</sup>:

Se refiere al ciclo biológico, la fase en la cual se encuentra la célula al momento de recibir la radiación. Las fases G2 y M (mitosis) son las más radiosensibles, mientras que la fase S (síntesis de ADN) es la más radioresistente.

### Factores ambientales<sup>57</sup>:

- a) Grado de hidratación celular: Son más radioresistentes con mayor deshidratación.
- b) Temperatura: A bajas temperaturas se enlentecen los procesos biológicos, siendo más radioresistentes.

## 1.2.6 Cristalino

Es un tejido muy especializado, transparente, perteneciente a la estructura ocular (Figura 1.8). Es parte fundamental de nuestro sistema de visión, cuya función es la de enfocar objetos próximos o lejanos en forma de imágenes proyectadas en la retina del ojo<sup>58</sup>.

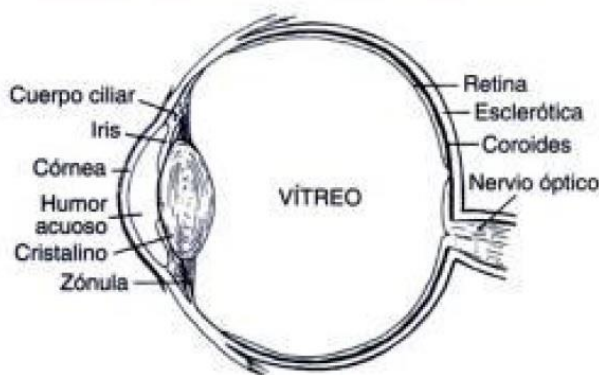


FIGURA 1.8: *Relación de cristalino y otras estructuras oculares<sup>58</sup>.*

El Cristalino posee dos secciones de células especializadas<sup>58</sup>:

La superficie anterior del Cristalino, situada más cerca de la Córnea, la cual compone “el epitelio anterior del Cristalino”. La mayoría de estas células presenta poca capacidad mitótica.

La parte central, compuesta por capas concéntricas de células alargadas (fibras). La totalidad de estas células presenta nula capacidad mitótica.

Ambos tipos celulares conforman una matriz extracelular elástica que rodea todo el Cristalino<sup>58</sup>.

#### *1.2.6.1 Proliferación celular y Mitosis*

La zona encargada de la proliferación celular se encuentra posterior al epitelio anterior, y se denomina “zona germinativa”, en donde las células producidas por mitosis lentas migran hacia la parte posterior del Cristalino, en donde se diferencian a la altura del ecuador de éste<sup>58</sup>.

Las células comienzan a alargarse, mientras acumulan proteínas transparentes denominadas “cristalinas”, hasta toparse con las células del lado contrario en proceso de alargamiento. Dicho lugar de encuentro es denominado “zona de sutura”<sup>58</sup> (Figura 1.9).

Se detiene el proceso de alargamiento, y las células pierden todos sus organelos celulares, incluso su mitocondria, disminuyendo su ambiente reductor y, por lo tanto, su capacidad radioprotectora<sup>59</sup>. Así comienza un proceso de acumulación durante toda la vida del Cristalino, bajo capas de generaciones nuevas de fibras y células. Es por esto que el Cristalino aumenta de tamaño y número celular constantemente<sup>60</sup>.

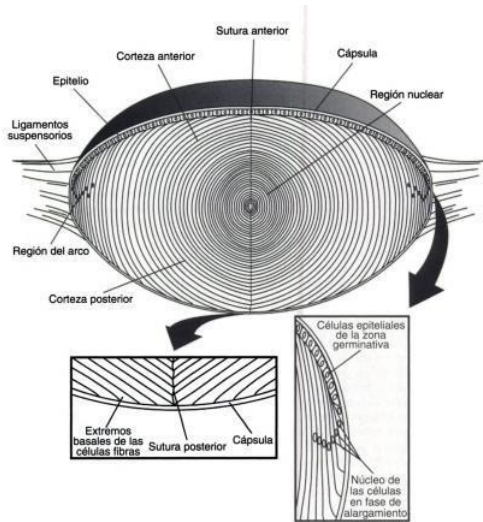


FIGURA 1.9: *Esquema correspondiente al Cristalino normal de un adulto y su distribución celular*<sup>60</sup>

### 1.2.6.2 Cataratas

De todos los tejidos oculares, el Cristalino es el más sensible a la radiación<sup>52</sup>. Debido a que diversos constituyentes celulares como el ADN, proteínas y pigmentos absorben con facilidad la luz ultravioleta y visible, a la cual se encuentra expuesto durante toda su vida, se generan interacciones capaces de ocasionar radicales libres, los cuales pueden llegar a afectar a las células metabólicamente vulnerables de la estructura del Cristalino<sup>61</sup>. Lo anterior puede conllevar a la pérdida de transparencia del Cristalino, y cualquier opacificación sufrida por este se considera como cataratas<sup>62</sup>.

La radiación X y gamma son capaces de producir alteraciones en las células del Cristalino. El mecanismo inicial en este proceso consiste en la lesión de las células con capacidad de proliferación en la zona germinativa, detrás del epitelio anterior del Cristalino. Las fibras del Cristalino en formación se deforman y destruyen, acumulándose sus restos (proteínas desnaturalizadas) en las regiones subcapsulares, lo cual conllevan la aparición de cataratas corticales y subcorticales posteriores<sup>63</sup>.

Dosis aproximadas de 1 Gy en una sola aplicación, o 4 Gy en forma fraccionada conllevan formación de opacidades. Con 5 Gy se producen de forma progresiva grave. La opacidad del Cristalino alcanza el 100% en dosis desde 7,5 Gy en forma aguda, y 14 Gy fraccionada<sup>52</sup>.

### 1.2.7 Protección Radiológica

La protección radiológica consiste en el desarrollo de técnicas, procedimientos y utilización de equipos con la finalidad de controlar los niveles de radiación y reducir la exposición innecesaria a la radiación por parte de los trabajadores ocupacionalmente expuestos y al público en general<sup>64</sup>.

El organismo internacional ICRP desde el año 1990 dio comienzo a la publicación de “recomendaciones” orientadas al correcto uso de la protección radiológica. Éstas se actualizan cada cierto periodo de tiempo, según los descubrimientos y publicaciones científicas de gran alcance en el tema. La importancia de una correcta protección surge como resultado de diferentes situaciones históricas, en las cuales se vio expuesto lo peligroso que puede llegar a ser la manipulación y/o exposición indebida a materiales radiactivos<sup>65</sup>.

#### 1.2.7.1 Principios de Radioprotección:

- a) Justificación: Se refiere a que el beneficio para el cual se está haciendo uso de la radiación debe ser superior al costo o daño que esta podría llegar a causar. Este principio se orienta a tomar la correcta decisión por parte del encargado o personal<sup>66</sup>.
- b) Limitación de dosis: Se refiere a que la exposición total planificada aplicada a un individuo específico no debe exceder los límites de dosis establecidos por la ICRP<sup>66</sup>.
- c) Optimización de dosis (ALARA): Considerando los factores externos, la exposición, la cantidad de personas expuestas y la magnitud de la dosis individual aplicada deben ser mantenidas “tan bajas como sea razonablemente posible”<sup>66</sup>.

#### 1.2.7.2 Métodos de Radioprotección

- a) Tiempo: Mientras menos tiempo de exposición a la fuente radiactiva, menor será la exposición total del personal<sup>54</sup>.
- b) Distancia: Se aplica en este concepto la “ley del cuadrado inverso de la distancia”, la cual consiste en que la cantidad de radiación percibida por el personal es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia desde la fuente. Es por esto que, si se duplica la

distancia, la persona recibirá un cuarto de la radiación presente en la posición inicial. No aplica para situaciones de fuentes múltiples de radiación<sup>54</sup>.

- c) **Blindaje:** Esto incluye el uso de materiales blindantes, como por ejemplo el plomo. El espesor a considerar para reducir la cantidad de radiación recibida por el personal está directamente relacionado con el tipo partícula o energía generada en la fuente emisora. Las partículas alfa y beta pueden ser absorbidas completamente, sin embargo, la radiación tipo X y gamma sólo puede ser reducida<sup>54</sup>.

### *1.2.7.3 Elementos de Protección Radiológica*

Los elementos de protección radiológica corresponden a objetos físicos que tienen por finalidad la prevención de exposición innecesaria y/o perjudicial de personas a la radiación ionizante. Esto no incluye la limitación de acciones humanas beneficiosas asociadas a dicha exposición<sup>67</sup>.

Se consideran parte de dichos objetos los biombos, delantales plomados (faldón, pechera, chaqueta), protector tiroideo, protector gonadal, guantes, gafas plomadas y protector de jeringas.

## **1.2.8 LEGISLACIÓN REGULATORIA**

La Comisión Internacional de Protección Radiológica desde 1928 ha desarrollado un sistema de estándares de protección radiológica y dosimetría a nivel mundial, con un número de publicaciones que en la actualidad superan los cien ejemplares<sup>68</sup>.

En el año 2007, la ICRP publicó recomendaciones que establecían límites de dosis a nivel general, con el fin de evitar la sobreexposición del profesional ocupacionalmente expuesto a la radiación. Sin embargo, el año 2008 la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA) inició los estudios “RELID”, los cuales midieron en distintas partes del mundo las dosis recibidas en el Cristalino de los profesionales. Este estudio motivó la publicación, por parte de la ICRP, en

el año 2011, de una recomendación especialmente enfocada en dosimetría del Cristalino, en donde se disminuía la dosis equivalente límite a 20 mSv/año, sin que la dosis promediada en periodos de cinco años superara los 50 mSv/año. Con anterioridad la dosis considerada límite era de 150 mSv/año<sup>69</sup>.

A nivel local, actualmente en la legislación chilena rige el “Decreto N°3” del año 1985, el cual regula la protección radiológica en todas las áreas donde exista exposición de los trabajadores a la radiación ionizante. Sin embargo, dicho decreto se encuentra sin actualizaciones, considerando en el artículo N° 12 un límite de dosis en cristalino del POE de 30 REM/año, lo que equivale a 300 mSv/año<sup>70</sup>.

A continuación, se muestra una tabla comparativa de los valores considerados límite por el organismo regulador a nivel internacional ICRP, y la dosis límite chilena (Tabla 1.2).

TABLA 1.2 *Dosis máximas propuestas nacional e internacionalmente*<sup>6870</sup>  
Fuente: Elaboración propia

<i>Tejido</i>	<b>Reglamento 3</b>	<b>ICRP</b>
<i>Cuerpo Entero</i>	5 rem = 50 mSv	500 mSv
<i>Extremidades</i>	50 rem = 500 mSv	500 mSv
<i>Cristalino</i>	30 rem = 300 mSv	*20 mSv/año como promedio en 5 años. Sin exceder en un año los 50 mSv de exposición.

## **CAPÍTULO 2 : OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

- Describir el equivalente de dosis personal acumulada durante un trimestre a nivel del Cristalino del Tecnólogo Médico, al momento de marcar y administrar el radiotrazador en los exámenes realizados en el Centro de Medicina Nuclear Viña del Mar.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Describir la actividad del radiotrazador manipulado por el Tecnólogo Médico en los exámenes realizados durante los meses de Julio, Agosto y Septiembre del año 2018.
- Describir el Tiempo de Exposición del Tecnólogo Médico, durante la marcación y administración del radiotrazador en los exámenes realizados durante los meses de Julio, Agosto y Septiembre del año 2018.
- Caracterizar el número de procedimientos realizados según periodo de medición y tipo de examen, durante los meses de Julio, Agosto y Septiembre del año 2018.
- Describir el equivalente de dosis personal acumulada durante tres meses, según la posición de los cristales TLD.
- Recopilar estudios dosimétricos, publicados entre los años 2010-2018, cuyo objetivo sea describir la dosis en Cristalino de los trabajadores ocupacionalmente expuestos en el área de medicina nuclear.
- Sintetizar los resultados conferidos por los estudios seleccionados para conocer el contexto de la dosimetría del Cristalino en el área de medicina nuclear.
- Exponer los resultados descritos en el reporte de caso dentro del contexto dosimétrico establecido mediante la revisión bibliográfica.

## **CAPÍTULO 3 : MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.1 TIPO DE ESTUDIO**

Este estudio es un Reporte de caso con Revisión bibliográfica. El reporte de caso corresponde a un estudio de tipo observacional, que se caracteriza por describir cuidadosamente un caso o una situación poco reportada, en el que no ha habido intervención por parte de los investigadores<sup>71</sup>. Mientras que la revisión bibliográfica es una recopilación sistemática de la información publicada relacionada con un tema, que busca enriquecer los resultados de la presente investigación, al contextualizarla con estudios similares<sup>72</sup>.

### **3.2 LUGAR DE ESTUDIO**

El presente estudio recabó datos en el Centro de Medicina Nuclear Viña del Mar (CMNVM), el cual cuenta con dos unidades:

- Centro de Medicina Nuclear Viña del Mar (CMNVMH), ubicado en el Hospital Clínico Viña del Mar, en calle Limache 1741, Viña del Mar, Región de Valparaíso.
- Centro de Medicina Nuclear Viña del Mar, ubicado en calle Arlegui 333, of. 221, Viña del Mar, Región de Valparaíso.

Esta investigación se realizó principalmente en el Centro ubicado en el Hospital Clínico Viña del mar (calle Limache 1741, Viña del Mar).

### **3.3 VARIABLES**

a) Equivalente de Dosis Personal acumulada a nivel del Cristalino

El Equivalente de Dosis Personal corresponde a una magnitud de protección radiológica igual al producto entre la dosis absorbida medida en un órgano o tejido y el factor de ponderación de la radiación. Se le considera como “acumulada” debido a que esta dosis equivalente se medirá

durante tres meses. Es una variable cuantitativa de razón, que puede tomar valores en uSv que van de 0 a infinito y será medida con cristales TLD dispuestos a nivel del Cristalino del Tecnólogo Médico<sup>47</sup>.

#### b) Actividad del radiotrazador administrado

La Actividad de un material radiactivo (radiotrazador), es el número de desintegraciones por segundo, es decir, la proporción en la que los núcleos de los átomos del material radiactivo se desintegran. Es una variable cuantitativa de intervalo, que en su administración puede tomar valores que van de 1 a 34 mCi. Esta será medida por un activímetro y/o determinada por la fórmula de decaimiento radioactivo ( $A^t = A^0 \times e^{-\lambda t}$ ), según corresponda<sup>18,19</sup>.

#### c) Tiempo de exposición

El tiempo es uno de los métodos básicos de protección radiológica. Se entiende como el tiempo que se requiere para realizar una marcación y administración. Se considera marcación desde el momento en que se extrae el pertecneciato de sodio hasta que termina el proceso de marcaje, y se considera administración desde el momento en que se extrae la dosis para el paciente hasta que los materiales e insumos de punción son eliminados en su respectivo contenedor. Es una variable cuantitativa continua de intervalo, que puede tomar valores en segundos entre 0 a infinito y que será medida por un cronómetro durante el proceso de marcación y administración<sup>66</sup>.

#### a) Posición de los cristales TLD

La posición de los cristales TLD corresponde al lugar que ocuparán estos con respecto al Cristalino, siendo esta disposición, por anterior y posterior, en la sien derecha de la profesional y en la varilla derecha de las gafas plomadas (**ANEXO A**). Es una variable cualitativa nominal. Estos serán ubicados por un físico médico calificado.

### 3.4 FUENTES Y MÉTODOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Lugar: Esta investigación será realizada en las Unidades de Medicina Nuclear de:

- Centro de Medicina Nuclear Viña del Mar, ubicado en el Hospital Clínico Viña del Mar (CMNVMH), en Calle Limache #1741 Viña del Mar.
- Centro de Medicina Nuclear Viña del Mar, ubicado en calle Arlegui #333 Of. 221 Edificio Marina Centro, Viña del Mar.

Además, en todo estudio es necesario precisar las herramientas y fuentes necesarias para poder llevar a cabo correctamente una investigación. En el caso del presente trabajo, se dividieron en dos partes: un ítem destinado a reporte de caso y otro a revisión bibliográfica.

#### 3.4.1 Reporte de Caso

##### 3.4.1.1 Descripción del caso

Mujer de veintinueve años, de profesión Tecnólogo Médico, titulada el año 2012 en la Universidad de Valparaíso, con siete años de experiencia en Medicina Nuclear. Único antecedente mórbido conocido es Tiroiditis de Hashimoto. A nivel ocular presenta migraña retinal, por lo cual requiere uso de gafas de descanso desde los doce años. Presenta una estatura de 1,51 metros, un peso de 53 kilos, diestra. Actualmente ejerce el cargo de Tecnólogo Médico en el Centro de Medicina Nuclear de Viña del Mar del Hospital Clínico Viña del Mar.

Su carga laboral consiste en cuarenta y cinco horas semanales, cinco días a la semana, en las cuales está encargada de realizar la preparación, fraccionamiento, administración de radiotrazadores y posterior adquisición de las imágenes. La profesional utiliza como protección radiológica de uso diario el delantal plomado y protector tiroideo de 0,5 mm de espesor, protector de jeringa de 2 mm espesor y gafas plomadas de 0,5 mm de espesor<sup>73</sup>.

En el centro de Medicina Nuclear se determinó un promedio trimestral de los siguientes parámetros relevantes para la presente investigación, según la carga laboral correspondiente al año anterior al estudio:

TABLA 3.1 *Porcentajes según exámenes realizados el año 2017 en el CMNVMH.*

Fuente: Elaboración propia.

<i>N°</i>	<b>Exámenes 2017</b>	<b>Cantidad</b>	<b>%</b>
1	CO	609	54,1
2	CO.Tri	41	3,6
3	PM	211	18,7
4	CT	64	5,7
5	C.Paratiroides	18	1,6
6	DTPA	40	3,6
7	DMSA	77	6,8
8	MAG 3	13	1,2
9	GL. CENTINELA	24	2,1
10	GL. SALIVAL	3	0,3
11	HEM. DIGESTIVA	5	0,4
12	V/Q	4	0,4
13	SPECT CEREBRAL	5	0,4
14	VAC. GASTRICO	1	0,09
15	LINFO. ISOT	5	0,4
16	CISTO ISO	2	0,17
17	CLEARENCE	3	0,26
18	SPECT H-E	1	0,09
<b>TOTAL</b>		<b>1126</b>	<b>99,91%</b>

**C.O:** Cintigramas Óseos. **CO.Tri:** Cintigrama Óseo Trifásico. **P.M:** Perfusiones Miocárdicas. **C.T:** Cintigrama Tiroides. **C.Paratiroides:** Cintigrama Paratiroides. **DTPA:** Renograma Isotópico DTPA. **DMSA:** Cintigrama Renal DMSA. **MAG3:** Renograma Isotópico MAG3 **Gl.Centinela:** Cintigrama Ganglio Centinela. **Gl.Salival:** Cintigrama Glándula Salival **Hem.Digestiva:** Hemorragia Digestiva. **V/Q:** Ventilación – Perfusión. **Vac.Gastrico:** Vaciamiento Gástrico **Linfo.Isot:** Linfografía Isotópica **Cisto.Iso:** Cistografía Isotópica. **Clearance:** Clearance Mucociliar. **Spect H-E:** Spect Hepato-Esplénico.

TABLA 3.2 *Porcentaje de exámenes realizados en el trimestre Julio-Agosto- Septiembre del año 2017 en CMNVMH.*

Fuente: Elaboración Propia.

N°	Exámenes	Julio 2017	Agosto 2017	Septiembre 2017	Total trimestral	%
1	CO	51	55	41	147	53,26
2	CO.TRI	1	6	1	8	2,89
3	PM	20	22	14	56	20,28
4	CT	6	9	2	17	6,15
5	C.Paratiroides	1	1	1	3	1,08
6	DTPA	3	4	2	9	3,26
7	DMSA	8	9	5	22	7,97
8	MAG 3	0	2	1	3	1,08
9	GL. CENTINELA	0	3	3	6	2,17
10	GL.SALIVAL	0	1	1	2	0,72
11	HEM. DIGESTIVA	0	0	0	0	0
12	V/Q	0	0	0	0	0
13	SPECT CEREBRAL	0	1	1	2	0,72
14	VAC. GASTRICO	0	0	0	0	0
15	LINFO. ISOT	0	1	0	1	0,36
16	CISTO ISO	0	0	0	0	0
17	CLEARANCE	0	0	0	0	0
18	SPECT H-E	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>		<b>90</b>	<b>114</b>	<b>72</b>	<b>276</b>	<b>99,94%</b>

**C.O:** Cintigrama Óseo. **CO.Tri:** Cintigrama Óseo Trifásico. **P.M:** Perfusiones Miocárdicas. **C.T:** Cintigrama Tiroides. **C.Paratiroides:** Cintigrama Paratiroides. **DTPA:** Renograma Isotópico DTPA. **DMSA:** Cintigrama Renal DMSA. **MAG3:** Renograma Isotópico MAG3 **Gl.Centinela:** Cintigrama Ganglio Centinela. **Gl.Salival:** Cintigrama Glándula Salival **Hem.Digestiva:** Hemorragia Digestiva. **V/Q:** Ventilación – Perfusión. **Vac.Gastrico:** Vaciamiento Gástrico **Linfo.Isot:** Linfografía Isotópica **Cisto.Iso:** Cistografía Isotópica. **Clearance:** Clearance Mucociliar. **Spect H-E:** Specto Hepato-Esplénico. Fuente: elaboración propia.

A cargo de su dosimetría personal se encontraba la empresa FOTOMAT, la cual le proporcionaba un PD3 de cuerpo entero de tipo película, cuyo exterior está formado por poliuretano de alta densidad, esta aloja 2 elementos termoluminiscentes del tipo TLD-100, sensibles a fotones (Rayos X, y gama) y estos elementos están compuestos por material policristalino de fluoruro<sup>74</sup>.

Sin embargo, durante el mes de Agosto, su dosimetría personal pasó a manos de la empresa INGEFISIC, la cual le otorga a la Tecnólogo Médico un dosímetro Rados TL- dosemeter de cuerpo entero, con dos a cuatro TLD, de material LiF:Mg,Cu,P para detección de fotones y radiación beta. También utiliza un dosímetro en anillo con los mismos componentes que el TLD de cuerpo entero<sup>75</sup>.

A pesar de contar con la dosimetría personal correspondiente a cuerpo y extremidad, no existe un registro sobre la dosis recibida a nivel de su Cristalino, puesto que ésta última no se encuentra normada por la legislación chilena vigente. Debido a la radiosensibilidad de dicha estructura ocular es que se hace imperioso conocer el nivel de exposición radiológica a la cual se encuentra expuesta.

#### *3.4.1.2 Recolección de datos*

Esta investigación, al consistir en una descripción dosimétrica a nivel del Cristalino, tiene cristales TLD como principal instrumento de recolección de datos. Se necesitaron cuatro TLD de equivalente de dosis personal, modelo TLds 100 Batch XY con cristales de Fluoruro de Litio dopados con manganeso, cobre y fósforo: Mg,Cu,P sólidos<sup>75</sup>, los cuales fueron provistos de manera gratuita por la empresa externa INGEFISIC, dedicada al asesoramiento, capacitación y prestación de servicios de protección radiológica, la cual se encuentra certificada en sistema de calidad bajo la norma ISO 9001 y Nch 2728<sup>76</sup>. Los dos primeros fueron utilizados durante los meses de Julio – Agosto, y los otros dos durante el mes de Septiembre.

##### *3.4.1.2.1 Calibración y lectura de TLD*

Antes de comenzar a calibrar los dosímetros en el laboratorio de Ingefisic, Santiago de Chile, se utilizó una cámara de ionización volumétrica de 800 el cual posee trazabilidad con el laboratorio de metrología de la Universidad de Wisconsin trazable al Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) para medir el Kerma en aire (Kair) a 2 metros de distancia de una fuente de referencia, en este caso una fuente de Cesio ( $Cs^{137}$ ) de 300 mCi<sup>77</sup>.

Posteriormente, fue necesario realizar la conversión del resultado de  $K_{air}$  a la tasa de dosis ( $D$ ) correspondiente a la magnitud operacional  $H_p(10)$ , puesto que, para este paso se consideró el uso de un slab phantom ISO el cual simula el torax de un hombre y mujer de referencia según la ICRU. Se multiplicó  $K_{air}$  por un factor de conversión ( $F_c$ ), dependiente de la fuente ( $Cs^{137}$ ), su energía (661,6 keV), ángulo de incidencia ( $0^\circ$ ) y fantoma a utilizar<sup>77</sup>.

$$D_{10} = K_{air} \times F_c \quad (3.1)$$

Luego todos los TLD fueron colocados en el slab phantom, e irradiados con la fuente de  $Cs^{137}$  de 300 mCi a 2 metros de distancia por 1 hora. Posteriormente, los dosímetros fueron leídos y los resultados fueron comparados con la tasa de dosis anteriormente calculada ( $D_{10}$ ), con la finalidad de comprobar que todos los cristales se encuentren dentro del campo de irradiación y verificar la correcta homogeneidad del haz<sup>77</sup>.

Una vez verificado lo anterior, fue necesario realizar la calibración de los dosímetros en un fantoma cilíndrico de cabeza, con un haz de radiación con incidencia de  $45^\circ$ <sup>77</sup> (Figura 3.1), considerando como dosis de irradiación 0,1; 0,5; 1; 3 y 5 mSv; 0,1 mSv por ser el menor nivel de registro en Chile y 5 mSv por ser el límite de dosis máximo en un trimestre<sup>78</sup>. Para calcular la tasa de dosis correspondiente a  $H_p(3)$  se procedió a utilizar un factor de conversión específico para dicha magnitud, fantoma y ángulo de incidencia<sup>79</sup>.

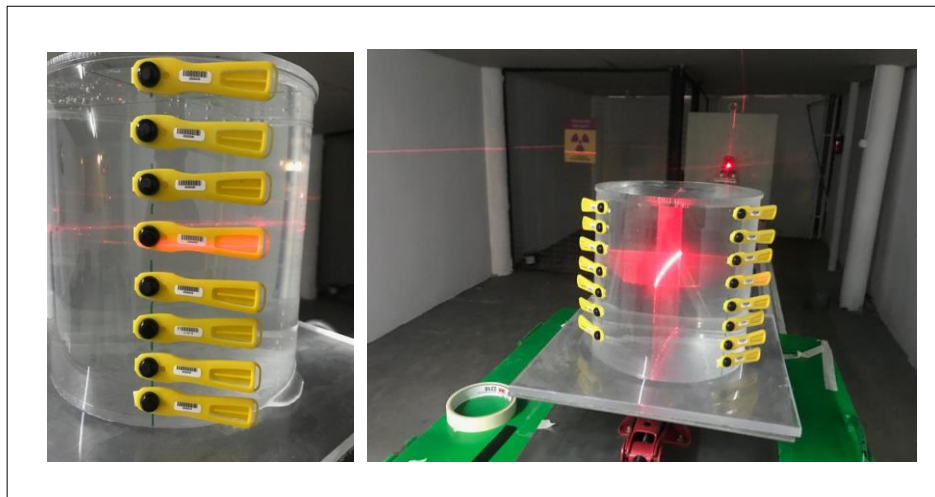


FIGURA 3.1. Dosímetros TLD posicionados e irradiados en  $45^\circ$  en fantoma cilíndrico de cabeza. Fuente: Elaboración Propia.

Conociendo las dosis de irradiación ( $D_i$ ), y la tasa de dosis para Hp (3), fue necesario calcular el tiempo de exposición. Este dato servirá para conocer cuánto tiempo se necesita irradiar los TLD para obtener las dosis establecidas. Para esto se debe dividir la dosis establecida por la tasa de dosis de Hp(3), según la siguiente fórmula:

$$D_i = D_3 \times \text{tiempo} \quad (3.2)$$

Para la lectura de los dosímetros, los softwares integrados en INGEFISIC pueden leer directamente la magnitud operacional Hp (10) en mSv, pero en el caso de Hp (3) sólo permiten obtener el resultado en cuentas. Para transformar cuentas en mSv fue necesario realizar una gráfica de las cuentas obtenidas versus las dosis a las cuales los dosímetros se irradiaron. De la recta formada, se calculó la pendiente utilizando el método de los mínimos cuadrados, la cual se considera el factor de calibración. Finalmente, para obtener el valor en mSv de Hp(3) se dividió su lectura en cuentas por el factor de calibración, como se muestra en la siguiente fórmula:

$$Hp(3) = \text{Cuentas (por TLD)} / \text{factor de calibración (mSv)}. \quad (3.3)$$

#### 3.4.1.2.2 *Otros instrumentos de medición*

Para el estudio se contó unas gafas plomadas marca Bar-Ray modelo Wrap Around con protección lateral. Contienen un equivalente a 0,5 mm de vidrio plomado entregando una atenuación del 95% a radiación incidente con energías de hasta 125 keV<sup>73</sup>. Fue utilizada durante la realización de todos los exámenes a medir, y cumplió la función de soporte para uno de los cristales TLD, con disposición topográfica en la varilla derecha, esto debido a que la Técnico Médico en estudio es diestra (ANEXO A). Un tercer dosímetro denominado “testigo” fue

instalado en la pared de la sala en donde se almacenaron los TLD utilizados en las mediciones, con la finalidad de registrar la radiación de fondo en dicho lugar durante los periodos de estudio.

Una vez realizada la instalación de los dosímetros TLD, se comenzaron las mediciones de las variables consideradas en el estudio las cuales se registraron en un cuaderno de observaciones. Al final de cada semana los datos obtenidos fueron traspasados a una base de datos hecha previamente en una planilla Excel (ANEXO B).

Finalmente, al concluir los periodos de mediciones, los cristales TLD fueron entregados nuevamente al Físico Médico, para su posterior lectura, que consiste en someter a un proceso físico a los dosímetros TLD, con la finalidad de obtener el resultado de la radiación detectada durante su tiempo de uso por parte del profesional ocupacionalmente expuesto.

Los dosímetros son colocados en un lector “TLD RADPRO” modelo “TLD Cube”, el cual es en un equipo que permite las mediciones de a través termoluminiscencia. Posee un elemento de calefacción de cerámica, donde se colocan los dosímetros y son sometidas a temperaturas que pueden alcanzar hasta un punto máximo de  $600^{\circ}\text{C}$ <sup>79</sup>.

El lector se encuentra conectado a un PC, para así poder leer las mediciones por medio del software “TLStudio”. En la pantalla del computador aparecerá una aplicación que muestra las condiciones físicas del lector, y entrega el resultado de la lectura en “cuentas”, junto a una gráfica que entrega la relación entre “cuentas por canal”, “tiempo” y “temperatura”. Es importante siempre comprobar la correcta conexión Cube-PC<sup>79</sup>.

### **3.4.2 Revisión Bibliográfica**

Una revisión bibliográfica es el paso previo antes de comenzar a realizar una investigación, en esta el investigador se aproxima al conocimiento de un tema y es en sí la primera etapa del proceso de investigación porque ayuda a identificar qué se sabe y qué se desconoce de un tema de interés. La revisión tiene como finalidad examinar la bibliografía publicada y situarla en cierta perspectiva. El término búsqueda bibliográfica en el contexto de la revisión comienza a entenderse como un estudio en sí mismo, en el cual el revisor tiene un interrogante, recoge datos (en la forma de artículos previos), los analiza y extrae una conclusión<sup>80</sup>.

### 3.4.2.1 Fuentes de información

Los buscadores académicos a utilizar corresponden a los proporcionados por la Universidad de Valparaíso, pudiéndose encontrar este listado en la sección de bibliotecas UV → Herramientas → Acceso al proxy UV.

### 3.4.2.2 Estrategias de búsqueda

El paso previo para definir los términos principales de búsqueda es enlistar sinónimos y palabras claves, para posteriormente destacar los más relevantes e introducirlos en los motores de búsqueda académica<sup>81</sup>.

Es importante buscar términos en el idioma de la base de datos a la cual se accederá, y el manejo del diccionario especializado “Thesauro” denominado “MeSH”. Este último consiste en un lenguaje controlado especializado que señala la relación conceptual entre distintos términos descriptores de la base de datos. Esto permite encontrar los documentos, estudios y publicaciones científicas relevantes para los investigadores<sup>81</sup>.

La estrategia de búsqueda definida en nuestro trabajo comprende los términos MeSH: Eye Lens AND Nuclear Medicine AND Radiation. Utilizando solo un filtro por rango de años, correspondiente a los estudios comprendidos entre los años 2010-2018.

### 3.4.2.3 Selección de estudios

#### Criterios de inclusión

Para nuestra búsqueda bibliográfica se establecieron ciertos criterios necesarios para determinar si una publicación o documento califica para ser considerado en el estudio.

Estos criterios consideran si el estudio encontrado:

- Corresponde al área radiológica de Medicina Nuclear.
- Abarca el tópico de radiación en Cristalino u ojo de el o los profesionales en estudio.
- Fue publicado entre los años 2010-2018.

### Proceso de selección

Los estudios incluidos en el presente estudio fueron seleccionados según el siguiente procedimiento:

- 1) El proceso de búsqueda bibliográfica fue realizado por las dos investigadoras participantes en el presente proyecto, en la base de datos proporcionada por la Universidad de Valparaíso.
- 2) Se utilizaron los términos preestablecidos “Eye lens AND Nuclear Medicine AND Radiation”, siendo el filtro aplicado los años comprendidos desde 2010 a 2018.
- 3) Chequear los títulos y resúmenes entregados por los documentos resultantes de la búsqueda, con la finalidad de seleccionar los relevantes para la investigación.
- 4) Se almacenaron cada uno de los estudios en formato PDF, ordenados según año de publicación. Cada uno de los estudios fueron revisados minuciosamente, para descartar la repetición de los documentos.
- 5) Empleando los criterios de elegibilidad, las investigadoras procedieron a leer los textos completos obtenidos.
- 6) Se eliminaron todos los estudios que no cumplían con los criterios de elegibilidad preestablecidos.

#### *3.4.2.4 Búsqueda bibliográfica*

Se hizo ingreso a la base de datos de “MeSH”, en donde se buscaron las siguientes palabras: “Eye lens”, “Nuclear Medicine” y “Radiation”, estando todos los términos unidos por el operador booleano “AND”. Éste consiste en la unión de los tres términos MeSH, con la finalidad de entregar un resultado de búsqueda específico para dichos temas<sup>82</sup>. El filtro aplicado fueron los años comprendidos desde 2010-2018.

### Bases de datos bibliográficas

Se presenta la siguiente tabla, en la cual se detallan los buscadores empleados y los resultados obtenidos con y sin filtro. La búsqueda se llevó a cabo entre el 22 y 30 de septiembre del 2018.

TABLA 3.3 *Buscadores utilizados con su número de resultados con y sin filtro.*

Fuente: Elaboración Propia.

<b>N°</b>	<b>Buscador</b>	<b>Resultados sin filtros</b>	<b>Filtros</b>	<b>Resultados con filtro</b>
1	EBSCO Host	31	Años: 2010-2018	25
2	EBSCO Discovery	113	Años: 2010-2018	81
3	PubMed	105	Años: 2010-2018	62
4	Springerlink	3815	Años: 2010-2018	1473
5	Web of science	26	Años: 2010-2018	24
6	Scielo	290	Años: 2010-2018	117
7	ACS publications	187	Años: 2010-2018	89
8	Annual Reviews	1274	Años: 2010-2018	331
9	Oxford Journals	206	Años: 2010-2018	139
10	Science Magazine	48	Años: 2010-2018	3
11	Science Direct	3117	Años: 2010-2018	943
12	Wiley Online Library	3834	Años: 2010-2018	1266
13	IEE Explore digital library	262	Años: 2010-2018	63
14	IOPscience	103	Años: 2010-2018	58
15	Mathscinet	42	Años: 2010-2018	18
16	Nature	53	Años: 2010-2018	25
17	Clinical cancer research	227	Años: 2010-2018	87
18	Higher Education Research and Development	887	Años: 2010-2018	288
<b>TOTAL</b>		<b>14620</b>		<b>5092</b>

### 3.4.2.5 Lectura y revisión de los estudios

Los resultados sin filtro resultaron ser 14.620, los cuales se redujeron a 5.092. Durante un minucioso proceso de selección se recopilaron 37 estudios relacionados efectivamente con radiación medida en Medicina Nuclear. En una revisión exhaustiva, 17 fueron aceptados, puesto que están relacionados con medición de radiación específicamente en Cristalino en Medicina Nuclear. De estos estudios, 10 son pertenecientes a la fuente “EBSCOhost”<sup>83,84,85,86,87,88,89,90,91,92</sup>, 2 en “EBSCOdiscovery”<sup>93,94</sup>, 2 en “WebOfScience”<sup>95,96</sup>, 1 en “PubMed”<sup>97</sup> y 2 en “Oxford Journal”<sup>98,99</sup>. Los otros 20 fueron excluidos puesto que no cumplían con los criterios de inclusión mencionados anteriormente.

### 3.4.2.6 Características de los estudios incluidos

Los estudios que cumplieron con los criterios de inclusión fueron sometidos a una detallada lectura, en la cual se extrajeron los siguientes datos: título del estudio, nombre de los autores, país en el cual se realizó la investigación, año de publicación del estudio, tipo de estudio, duración del estudio, radioisótopo utilizado, número de procedimientos o pacientes, actividad utilizada, número de profesionales ocupacionalmente expuestos monitoreado, años de experiencia de los profesionales estudiados, posición de los TLD, dosimetría relevante en Cristalino. Los datos fueron tabulados en una tabla de Excel previamente confeccionada (ANEXO C). En los estudios que se usó más de una modalidad se optó por mencionar sólo los resultados del SPECT.

### 3.4.2.7 Estudios excluidos

Una revisión presenta una lista de estudios excluidos, esto considera también los estudios que en un inicio parecen cumplir los criterios de elegibilidad pero que en una inspección adicional no es así<sup>100</sup>. En la Tabla 3.4 se detallan los estudios excluidos durante el proceso de selección y evaluación, y el motivo por el cual fueron eliminados.

TABLA 3.4 Estudios excluidos y sus motivos de eliminación.

Fuente: Elaboración Propia.

<i>Fuente</i>	<b>Título</b>	<b>Autor(es)</b>	<b>Año</b>	<b>Motivo</b>
	Dose rate constants for	Bastian Szermerski,	2015,	Busca determinar una

<i>EBSCOhost</i>	the quantity Hp(3) for frequently used radionuclides in nuclear medicine <sup>101</sup>	Iris Bruchmann, Rolf Behrens, Lilli Geworski	Alemania	“constante de rango de dosis” para Hp(3), no la dosis en Cristalino como tal.
	Radiation protection of medical staff on PET/CT departments <sup>102</sup>	Renáta Kohutavá, Vítězslav Jirík, Vojtech Ullmann	2015, República Checa	Mide la radiación recibida por el POE en PET/CT en mano.
	The B-ray energy and angular response of the EYE-D eye-lens dosimeter <sup>103</sup>	A.Szumaska, M.Budzanowski, R.Kopéc, P.Olko, K.Ciupek	2013, Polonia	Busca documentar la respuesta del dosímetro EYE-D a la radiación.
	Air kerma to Hp(3) conversion coefficients for photons from 10 keV to 10 MeV, calculated in a cylindrical phantom <sup>104</sup>	G.Gualdrini, J.M Bordy, J.Daures, E.Fantuzzi, P. Ferrari, F. Mariotti, F.Vanhavere	2012, Bélgica	Busca calcular, mediante el uso de fantoma cilíndrico, los coeficientes de conversión Air Kerma a Hp(3)
	A new proposal on the operational quantity Hp(3): Monte Carlo and experimental results <sup>105</sup>	F.Mariotti, G.Gualdrini, E.Fantuzzi, P.Ferrari, F.Monteventi	2011, Italia	Busca determinar la eficacia de distintos fantomas mediante método MonteCarlo.
	Combined model-based and patient-specific dosimetry for 18F-DCFPyL, a PSMA-targeted PET agent <sup>106</sup>	Donika Plyku1 & Esther Mena1 & Steven P. Rowe	2018, Alemania	Busca calcular la dosis en distintos órganos de pacientes con metástasis.
<i>EBSCO Discovery</i>	Simplicity or complexity of the radiopharmaceutical production process in the light of optimization of radiation protection of staff Tc99m VS F18 <sup>107</sup>	Malgorzata Wrzesien	2018, Polonia	Busca optimizar la producción de radiofármacos.
	The role of “after washing imaging” in evaluation of tear drainage system by dacryoscintigraphy <sup>108</sup>	Toktam Massoudi, Hmed Shayegani, Ramin Sadeghi	2018, Iran	Busca evaluar la eficacia de la imagen de “lavado” en cintigrafía para evaluación de problemas en el lagrimal.
	Effective and equivalent dose minimization for personnel in PET procedures: how far are we from the goal? <sup>109</sup>	M.Lecchi, S.Malaspina, A. Del Sole	2016, Alemania	Artículo Editorial
	Development of computational pregnant female and fetus models and assessment of radiation dose from	Tianwu Xie, Habib Zidi	2016, Berlin	Desarrolla modelos computacionales para embarazadas y fetos para la estimación de dosis en trazadores

	positrón-emitting tracers <sup>110</sup>			emisores de positrones.
	Occupational radiation exposure of medical staff performing Y90-loaded microsphere radioembolization <sup>111</sup>	Vanessa L.Gates, Ahmed Gabr, Joseph Kallini, Robert J.Lewandowski, Riad Salem	2016, Alemania	Comentario Editorial.
<i>Web of Science (WOS)</i>	Cataract risk in a cohort of U.S radiologic technologists performing nuclear medicine procedures <sup>112</sup>	Marie-Odile Bernier, Neige Journy, Daphnee Villoing, Michele M.Doody, Bruce H.Alexander	2017, Estados Unidos	Estudio utiliza cuestionarios para evaluar el riesgo de cataratas en Tecnólogos radiológicos.
	Technological advances in hybrid imaging and impact on dose <sup>113</sup>	Soren Mattson, Martin Andersson, Marcus Soderberg	2015, Suecia	No se refiere a dosimetría en Cristalino.
<i>Oxford Journal</i>	Overview of occupational radiation exposure in medical workers in Santa Catarina, Brazil, between 2014 and 2017 <sup>114</sup>	Davi Alves da Silva, Ana Figueiredo Maia, Rogerio Machado	2018, Brasil	Estudio Retrospectivo. No mide radiación en Cristalino.
	How do hospital sterilisation procedures affect the responde of personal extremity rings and of the eye lens TL dosimeters? <sup>115</sup>	Renata Kopec, Anna Bubak, Maciej Budzanowski, Anna Sas-Bieniarz, Agnieszka Szumska	2016, Polonia	Conservación de la calidad de los TLD frente a los procesos de esterilización.
	Implications in dosimetry of the implementation of the revised dose limit to the lens of the eye <sup>116</sup>	M.C Cantone, J. Broughton, M. Ginjaume, B.Shah	2015, UK, Italia, España, Alemania	Análisis de implicancias normativas dosimétricas del límite de dosis en Cristalino. No mide radiación en Cristalino.
	Radiation exposure to nuclear medicine staff involved in PET/CT practice in Serbia <sup>117</sup>	V. Antic, O. Ciraj-Bjelac, J. Stankovic, D. Arandjic, N. Todorovic, S. Lucic	2014, Serbia.	Mide radiación en cuerpo y en extremidades, no en Cristalino.
<i>ScienceDirect</i>	Radiation Protection and regulations for the Nuclear Medicine Physician <sup>118</sup>	Man Yu Chen	2014 Estados Unidos,	Busca generar una guía sobre radioprotección, orientada a físicos en el área de Medicina Nuclear.
	Occupational radiation dose for medical workers at a University hospital <sup>119</sup>	M.H. Nassef, A.A Kinsara	2017 Arabia Saudita.	Mide radiación en torso y extremidades, no en Cristalino.
<i>PubMed</i>	Bremsstrahlung parameters of praseodymium-142 in different human tissues: a	Mohamadreza K.Bakht, Hamidreza Jabal-Ameli, Seyed J.Ahmadi	2014, Iran.	Mide radiación de tipo dispersa en un fantoma tejido equivalente.

dosimetric perspective for 142Pr radionuclide therapy <sup>120</sup>			
--	--	--	--

#### 3.4.2.8 Extracción de Datos

En cuanto a la extracción de datos la recomendación es que más de una persona sea la encargada de obtener los datos de cada estudio, esto para reducir los errores y sesgos potenciales que puedan surgir de los investigadores. En este caso fueron dos personas las encargadas de extraer los datos de forma independiente para posteriormente comparar, revisar e integrar los datos obtenidos de forma conjunta<sup>100</sup>. Del total de 17 estudios seleccionados se extrajeron los siguientes datos: año de publicación, autores, país de origen, fuente, número de procedimientos, número de poes participantes en el estudio, tiempo de exposición, dosis administrada, posicionamiento de los TLD, dosis en cristalino obtenida, radiofármaco utilizado, mano dominante, equipo de cintigrafía utilizado. Mediante el ANEXO C diseñado durante la fase de planificación del análisis se fueron recopilando y ordenando los datos.

#### 3.4.3 Consideraciones Éticas

Los requisitos éticos son la herramienta principal para reducir al mínimo la posibilidad de explotación o daño a los participantes en una investigación, y asegurar que sean tratados en respeto a sus derechos<sup>121</sup>.

Existen siete requisitos, establecidos por Ezekiel Emanuel, bioético estadounidense, los cuales establecen los valores filosóficos básicos de los documentos establecidos en las convenciones sobre derechos humanos<sup>122</sup>.

**Valor:** Se refiere al valor que posee la investigación para la sociedad, la cual debe tener un impacto positivo y significativo para considerarse ético. El presente estudio posee valor científico, ya que podría servir como precedente en dosimetría del cristalino para el Tecnólogo Médico, para el servicio de medicina nuclear del Hospital Clínico Viña del mar y para futuras investigaciones<sup>123</sup>.

**Validez Científica:** Este requisito se justifica mediante el presente documento, el cual presenta un tema aprobado por un comité de investigación, una metodología científica válida, con un objetivo científico claro comprobable y con investigadores calificados de vasta experiencia científica para llevar a cabo una correcta investigación<sup>124</sup>.

**Selección equitativa del sujeto:** El criterio aplicado en la selección del sujeto en estudio fue basado en la importancia científica del estudio, puesto que el individuo es el perteneciente al reporte de caso desarrollado. Además, este posee años de experiencia laboral en el área de Medicina Nuclear, y posee todos sus materiales de protección plomados, por lo cual no fue sometido a una dosis de radiación mayor a la recibida en su esquema laboral cotidiano<sup>124</sup>.

**Proporción favorable de riesgo-beneficio:** Incorporando los principios bioéticos de Beneficencia y No Maleficencia, el presente estudio cumplirá con este requisito, al consistir en la medición de variables y observación pasiva de los procedimientos médicos cotidianos del individuo en estudio, sin que esto implique un aumento en la radiación recibida, por lo tanto, los posibles riesgos son mínimos en comparación al conocimiento que se podría obtener al finalizar este estudio<sup>125</sup>.

**Evaluación independiente:** Todo investigador tiene anhelos propios sobre el estudio que se encuentra realizando, lo cual puede llevar a sesgos en la realización de la investigación. Esto podría generar un desmedro en la calidad objetiva del proyecto, poniendo en entredicho su validez científica. Para evitar estas situaciones es que se contará con un evaluador externo apropiado designado por la carrera de Tecnología Médica, quien no estará afiliado al estudio, y el cual contará con autoridad para aprobar, enmendar o, en casos extremos, cancelar la investigación<sup>126</sup>.

**Consentimiento informado:** Se refiere al hecho en que los participantes de una investigación deben dar su consentimiento voluntario e informado tanto para ingresar a la investigación como para mantenerse en ella. Se le otorgará un Consentimiento Informado a la Tecnólogo Médico, el cual contará con letra legible, junto a una explicación detallada de los datos recogidos, los cuales consistirán en su información personal básica (ANEXO D)<sup>127</sup>.

**Respeto a los sujetos inscritos:** Este requisito indica que se le debe permitir al sujeto investigado retirarse de la investigación, proporcionarle la información adicional que resulta de la

investigación y proporcionar protección de su confidencialidad y el monitoreo de su bienestar. Su confidencialidad será resguardada al utilizar solo aquellos datos útiles para el estudio, cumpliendo, de esta manera, lo estipulado dentro de la legislación vigente en nuestro país, específicamente el derecho a la confidencialidad de los datos, expresados en la Ley N° 20.584 de Derechos y Deberes de los pacientes<sup>128</sup>. En cuanto a los pacientes, se destaca que no se tendrá ningún tipo de acceso a la Ficha Clínica de éste, no se manejarán sus datos personales ni se intervendrá en el procedimiento médico<sup>127</sup>.

## CAPÍTULO 4 : RESULTADOS

### 4.1 RESULTADOS REPORTE DE CASO

La recolección de datos tuvo una duración de tres meses, en los que se obtuvieron cuatro mediciones dosimétricas correspondientes a los meses de Julio-Agosto y Septiembre. Los detalles de los datos obtenidos durante estos periodos se detallan a continuación.

#### 4.1.1 Datos obtenidos durante Julio-Agosto 2018

Durante los meses de Julio y Agosto se observaron 14 tipos de procedimientos, que en conjunto significó un total de 169 exámenes, en los que se manipuló una Actividad de 3445,52 mCi en un tiempo de 26 horas, 54 minutos y 45 segundos. La dosis en Cristalino de este período fue obtenida por dos TLD, uno externo y otro interno a las gafas plomadas, dando una lectura dosimétrica de 0,64 mSv y 0,41 mSv respectivamente.

TABLA 4.1 *Datos obtenidos durante los meses de Julio-Agosto 2018.*

Fuente: Elaboración Propia.

<i>Tipo de Exámenes</i>		<b>N° proc. Julio</b>	<b>N° proc. Agosto</b>	$\Sigma$	<b>Act. A (mCi)</b>	<b>T. Exp (h:m:s)</b>	<b>Dosis (mSv)</b>
1	CO	29	52	81	1899.07	13:27:48	Dosis Externa (anterior a gafas plomadas)  0,64 mSv
2	CO.Trifásico	5	3	8	154.8	1:35:56	
3	PM	23	21	44	1066.52	19:01:00	
4	CT	1	8	9	118.6	1:29:48	
5	C.Paratiroides		2	2	32	0:11:21	
6	DTPA	4	5	9	81	2:53:06	
7	DMSA	4	3	7	51.8	1:33:31	
8	MAG 3		1	1	11	0:30:36	
9	Linfografía	1		1	1.6	0:12:58	Dosis Interna (posterior a gafas plomadas)  0,41 mSv
10	Spect Cerebral	2		2	60	0:26:54	
11	Hem. Digestiva		1	1	13	0:23:49	
12	Gl. Salivales		1	1	13	0:16:50	
13	Vac.Gástrico		1	1	10.13	0:25:51	
14	V/Q		2	2	87.8	0:59:00	
<b>TOTAL</b>		<b>69</b>	<b>100</b>	<b>169</b>	<b>3445,52</b>	<b>26:54:45</b>	

#### 4.1.2 Datos obtenidos durante Septiembre 2018

Durante el mes de Septiembre se observaron 9 tipos de procedimientos, que en conjunto significó un total de 67 exámenes, en los que se manipuló una Actividad 1549,2 mCi en un tiempo de 15 horas, 33 minutos y 37 segundos. La dosis en Cristalino de este período fue obtenida por dos TLD, uno externo y otro interno a las gafas plomadas, dando una lectura dosimétrica de 0,33 mSv y 0,21 mSv respectivamente.

TABLA 4.2 *Datos obtenidos durante el mes de Septiembre 2018.*

Fuente: Elaboración Propia.

<i>Tipo de Exámenes</i>		<b>N° proc.</b>	<b>Act. A (mCi)</b>	<b>T. Exp (h:m:s)</b>	<b>Dosis (mSv)</b>
1	CO	35	807,9	5:14:44	Dosis Externa 0,33 mSv
2	CO.Trifásico	4	100,3	0:27:49	
3	PM	12	488,9	6:16:28	
4	CT	5	69,6	0:41:44	
5	C.Paratiroides	1	9	0:11:28	
6	DTPA	1	6	1:13:33	Dosis Interna 0,21 mSv
7	DMSA	7	46,4	1:03:21	
8	Linfografía	1	5,1	0:19:46	
9	Gl. Salivales	1	16	0:04:44	
<b>TOTAL</b>		<b>67</b>	<b>1549,2</b>	<b>15:33:37</b>	

#### 4.1.3 Datos obtenidos durante el trimestre en estudio

Durante los meses de Julio, Agosto y Septiembre, se observaron 14 tipos de procedimientos, que en conjunto significó un total de 236 exámenes, en los que se manipuló una Actividad 5150,15mCi en un tiempo de exposición de 59 horas, 2 minutos y 5 segundos. La dosis en Cristalino de este período fue obtenida al sumar las dosis obtenidas individualmente en los periodos anteriores, lo que daría una lectura dosimétrica trimestral externa e interna a las gafas plomadas, de 0,97 mSv y 0,62 mSv respectivamente.

TABLA 4.3 *Datos obtenidos durante el trimestre en estudio (Julio-Agosto-Septiembre).*  
Fuente: Elaboración propia.

Tipo de Exámenes		N° proc.	Act. A (mCi)	T. Exp	$\sum$ Hp (3) [mSv] en 3 meses
1	CO	116	2707,6	18:42:32	Dosis Externa (anterior a gafas plomadas)  0,97 mSv
2	CO.Trifásico	12	255,1	2:03:45	
3	PM	56	1555,42	25:17:28	
4	CT	14	188,2	2:11:32	
5	C.Paratiroides	3	41	0:22:49	
6	DTPA	10	87	4:06:39	
7	DMSA	14	98,2	2:36:52	
8	MAG 3	1	11	0:30:36	
9	Linfografía	2	6,7	0:32:44	
10	Spect Cerebral	2	60	0:26:54	Dosis Interna (posterior a gafas plomadas)  0,62 mSv
11	Hem. Digestiva	1	13	0:23:49	
12	Gl. Salivales	2	29	0:16:50	
13	Vac.Gástrico	1	10,13	0:25:51	
14	V/Q	2	87,8	1:03:44	
<b>TOTAL</b>		<b>236</b>	<b>5150,15</b>	<b>59:02:05</b>	

#### 4.1.4 Zona de administración

Durante el trimestre en estudio se registraron las zonas en las que el profesional en estudio administró el radiotrazador a sus pacientes, esto se reflejó en 10 zonas de administración, de las cuales descartan el pliegue del brazo derecho e izquierdo con 137 y 73 punciones respectivamente, lo que correspondió al 88,98% del total de zonas. También se comprobó que el lado anatómico más frecuente para la administración es el derecho. con un 81,36% de las administraciones, seguido del lado izquierdo con un 30,93% y finalmente, otro tipo de administraciones, como lo son la oral e inhalatoria, con un 1,27%.

TABLA 4.4 *Porcentajes según lado anatómico usado para administrar.*  
Fuente: Elaboración Propia.

<i>Zona Administración</i>		<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	$\Sigma$	<b>%</b>	<b>% por lado (izq/der)</b>
1	P.B Der.	48	49	40	137	58.05	Derecho 81,36%
2	P.B Izq.	17	33	23	73	30.93	
3	Mano Der.	3	10	2	15	6.36	
3	Mano Izq.			1	1	0.42	Izquierdo 30,93%
4	Muñeca Der.		3		3	1.27	
6	Mama Izq			1	1	0.42	
7	Pie Der.		1		1	0.42	
8	Pie Izq.	1	1		2	0.85	Otros 1,27%
9	Oral		1		1	0.42	
10	Inhalatoria		2		2	0.85	
<b>TOTAL</b>		<b>69</b>	<b>100</b>	<b>67</b>	<b>236</b>	<b>99.99%</b>	

## 4.2 RESULTADOS REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Se consideró un total de 17 estudios para los fines de este proyecto, los cuales en su totalidad presentan la dosis medida a nivel del Cristalino en el área de Medicina Nuclear. Estos estudios se muestran en la Tabla 4.5.

TABLA 4.5 *Estudios incluidos y sus características.*

Fuente: Elaboración Propia.

N°	Título	Autor(es), Año y País.	Equipo	RI	T	N° proc/pac	N° POEs	P. TLD x POE	Dosis Cristalino
1	On the relationship between whole body, extremity and eye lens doses for medical staff in the preparation and application of radiopharmaceuticals in nuclear medicine	Kopec et al 2011 Polonia	SPECT PET/CT	Tc <sup>99m</sup> , Sm <sup>153</sup> , I <sup>131</sup> , F <sup>18</sup>	36 días	905 proc	23	1 TLD entre los ojos	Hp (3): 3,5 +/- [uSv/GBq]
2	External radiation exposure of personnel in nuclear medicine from F18, Tc99m and I131 with special reference to fingers, eyes and thyroid	Leide-Svegborn et al. 2011, Suecia	PET/CT	F <sup>18</sup> , Tc <sup>99m</sup> , I <sup>131</sup>	1 año	App 48 proc/año	19	2 TLD entre los ojos	8 mGray/año App
3	Eye doses to staff in a nuclear medicine department	Summers et al. 2012, UK	PET/CT	Tc <sup>99m</sup> , I <sup>131</sup> , Ir <sup>192</sup>	5 meses	X	6	2 TLD entre los ojos	4,5 mSv/año
4^	TLD occupational dose distribution study in nuclear medicine	Kubo et al. 2014, Brasil	SPECT PET/CT	F <sup>18</sup> , Tc <sup>99m</sup>	150 días	X	16	1 TLD en la frente, sin especificar.	SPECT: 1- 3,3 mSv/año
5	Eye dose monitoring of PET/CT workers	Walsh et al. 2014, Irlanda	PET/CT	F <sup>18</sup>	3 meses	11 pacientes/día	8	1 TLD, en sien izq.	Hp (3) Trimestral: 0,5 mSv Hp (3) Anual: 2 mSv
6^	Investigation of radiation protection of medical staff performing medical diagnostic examination by using PET/CT technique	Wrzesien et al. 2015, Polonia	PET/CT	F <sup>18</sup> - FDG	6 días	X	12	2 TLD, uno en cada sien.	Cristalino der: 9,5+/-7uSv Cristalino izq: 6,0+/-1,2uSv

7	Dose measurements to the lens in nuclear medicine and in fluoroscopy-guided interventional procedures: analysis of the results and assessment of the effectiveness of protective eyewear anti-x	Sarti et al. 2015, Italia	PET/CT	Tc <sup>99m</sup> , F <sup>18</sup> , Y <sup>90</sup>	3 semanas	X	13	5 TLD. 2 en cada sien y anteriores a las gafas plomadas, 2 posteriores y 1 central (entre los ojos)	Tc99m-F18: 0,16- 2,18 mSv/año aprox.
8^	Impact of radiation protection means on the dose to the lens of the eye while handling radionuclides in nuclear medicine	Bruchmann et al. 2016, Alemania	LAB	Tc <sup>99m</sup> , I <sup>131</sup> , Y <sup>90</sup> , F <sup>18</sup> , G <sup>68</sup>	1 día	1 con cada RT	4 fantomas Anderson Head Phantom	2 TLD sobre los ojos der e izq, sin gafas plomadas. 2 TLD, sobre los ojos der e izq, con gafas plomadas.	No presenta una unidad dosimétrica para la dosis obtenida.
9	Eye lens doses in nuclear medicine: a multicentric study in belgium and Poland	Dabin et al. 2016, Bélgica, Polonia	PET/CT	Tc <sup>99m</sup> , F <sup>18</sup> , I <sup>131</sup> , Ga <sup>68</sup> , Y <sup>90</sup> , I <sup>123</sup> , Lu <sup>177</sup> , In <sup>111</sup> , Ra <sup>223</sup> , C <sup>11</sup>	1-4 Semanas cada POE	X	45	1 TLD en la sien der o izq, o 1 TLD en el brazo der o izq de los lentes del operador.	Hp(3): 0.6 to 9.3 mSv/año aprox
10	Evaluation and optimization of occupational eye lens dosimetry during positron emission tomography (PET) procedures	Guiu-Souto et al. 2016, España	PET/CT	F <sup>18</sup>	8 meses	240	4	Punto medio del cuello.	Hp(3): 3.9 ± 0.6 mSv/año aprox
11^	Ocular organ dose assessment of nuclear medicine workers handling diagnostic	Yong In Cho et al. 2016, Corea	LAB	Tc <sup>99m</sup> , F <sup>18</sup> , I <sup>123</sup> , Ti <sup>201</sup> ,	X	Uno con cada RT	Fantoma matemático (Oak)	Organos oculares, utilizando una simulación	Tc99m: 1,228 uGy/h a una distancia de 100 cm.

	radionuclides			Ga <sup>67</sup> , In <sup>111</sup>				virtual.	
12	Reliability of eye lens dosimetry in workers of a positron emission tomography radiopharmaceutical production facility	Da Silva et al. 2016, Brasil	PET/CT	F <sup>18</sup> -FDG	7 meses	X	16	Sin especificar	Hp (3): <20 – 126 uSv/ 7 meses
13	Occupational radiation exposure in nuclear medicine department in Kuwait	Alnaaimi et al. 2017, Arabia Saudita, Kuwait, Malasia, UK	PET/CT	Tc <sup>99m</sup> , I <sup>131</sup> , Y <sup>90</sup> , F <sup>18</sup> , G <sup>68</sup>	1 año	>7000 pacientes	11	En la frente, sin especificar lugar ni n° de TLD.	Hp(3): 4,5 mSv/año
14*	Lens dose and radiogenic risk from 99mTc nuclear medicine examinations	Suliman et al. 2018, Hungría	SPECT	Tc <sup>99m</sup>	3 meses	350 pac	2	Sin especificar	Hp (3) Trimestral: 0.5 mSv Hp (3) Anual: 2.2 mSv aprox
15	Should Personnel of nuclear medicine departments use personal dosimeters for eye lens dose monitoring?	Piwowarska-Bilska. et al. 2018, Polonia	SPECT/ PET/CT	Tc <sup>99m</sup> , I <sup>131</sup>	3 meses	1533 proc	10	Sin especificar	Hp (3) trimestral: 0.20–0.72 mSv Hp (3) anual: 0.80–3.00 mSv
16	Is eye lens dosimetry needed in nuclear medicine?	Wrzesień et al. 2018, Polonia	PET/CT	Tc <sup>99m</sup> , F <sup>18</sup> , I <sup>131</sup>	1 día	370 PET/CT	28	2 TLD, en la frente sobre ojo izq y der.	Hp (3) promedio para Tc99m: 23,6 uSv
17	18F-FDG production procedures as a source of eye lens exposure to radiation	Wrzesień et al. 2018, Polonia	PET/CT	F <sup>18</sup>	11 días	19	17	3 TLD, todos en la frente del operador. 2 sobre los ojos y 1 central.	Hp (3) promedio max - min estimado en un año (260 días): Cristalino der: 30,2- 4,2 mSv Cristalino Izq: 21,6- 4,2 mSv

**RI:** Radioisotopo, **T:** Duración del estudio, **N° proc/pac:** Número de procedimientos o pacientes, **N° POEs:** Número de profesionales ocupacionalmente expuestos, **P.TLD x POE:** Posicionamiento de los TLD por POE.

Según las características de cada uno de los estudios, se procedió a realizar el siguiente desglose:

#### 4.2.1 Países en los que se llevaron a cabo las investigaciones

En el total de 17 estudios participaron 14 países distintos, siendo dos investigaciones realizadas en colaboración con centros de otros países. El país con más investigaciones en el área es Polonia con 6 publicaciones (27,27%), Brasil y UK con 2 estudios cada uno (9,09% c/u), Arabia Saudita, Kuwait, Malasia participaron juntos en sólo una investigación, mientras que Bélgica trabajo en conjunto con Polonia también en una investigación. Se publicó un estudio por país en Alemania, Suecia, Irlanda, Italia, España, Corea y Hungría.

El 72,73% de los países son europeos, 18,18% asiáticos y sólo uno con el 9,09%, este último es Brasil como el único país latinoamericano en publicar un estudio de dosis en Cristalino en Medicina Nuclear.

TABLA 4.6 *Países involucrados en las investigaciones.*  
Fuente: Elaboración propia

N°	País	Menciones	%	% Procedencia
1	Polonia	6	28,57	EUROPA: 71,43 %
2	UK	2	9,09	
3	Alemania	1	4,76	
4	Hungría	1	4,76	
5	Bélgica	1	4,76	
6	España	1	4,76	
7	Irlanda	1	4,76	
8	Italia	1	4,76	
9	Suecia	1	4,76	
10	Arabia Saudita	1	4,76	ASIA: 19,05 %
11	Kuwait	1	4,76	
12	Malasia	1	4,76	
13	Corea	1	4,76	
14	Brasil	2	9,52	LATINOAMERICA: 9,52 %

#### 4.2.2 Número y duración de los estudios según año de publicación

Durante los años 2010 y 2018 se obtuvieron un total de 17 estudios. En los años 2011, 2014 y 2015 se publicaron dos estudios por año, en los años 2012 y 2017 presentaron una publicación cada uno. Mientras que en los años 2016 y 2018 se observó un aumento de éstos, con un total de cinco y cuatro estudios respectivamente, en conjunto, ambos años concentraron el 52,94 % del total de estudios en Cristalino en Medicina Nuclear. En los años 2010 y 2013 no se encontraron estudios afines.

En cuanto al periodo de investigación de cada estudio, el tiempo más común fue el de 3 meses, el cual fue ocupado en 3 estudios, le siguen 1 día, 5 meses y 1 año, con dos estudios cada uno. Mientras que el resto varió entre 6 días y 8 meses. El promedio de duración de las investigaciones fue 124 días, siendo el mínimo 1 día, y el máximo 365 días.

TABLA 4.7 *Número y duración de estudios según año de publicación.*  
Fuente: Elaboración propia.

Año	N°	Duración de los estudios				
2011	2	86 días	1 año			
2012	2	5 meses				
2014	2	150 días	3 meses			
2015	2	6 días	3 semanas			
2016	5	1 día	4 semanas	8 meses	7 meses	X
2017	1	1 año				
2018	4	3 meses	3 meses	1 día	11 días	
TOTAL	19	Promedio de duración: 124 días				

**X:** Corresponde a estudios que no especificaban la duración de las mediciones.

#### 4.2.3 Modalidades utilizadas en las investigaciones

Del total de 17 estudios, solo un estudio realizó mediciones dosimétricas en el área convencional (SPECT), 11 se realizaron en la modalidad de PET/CT, 3 en ambas modalidades (SPECT y PET/CT) y 2 se hicieron en laboratorios con fantomas.

TABLA 4.8 *Modalidades de MN en las investigaciones.*

Fuente: Elaboración propia.

<i>Modalidad</i>	SPECT	SPECT/CT	PET/CT	LAB	
<i>Cantidad</i>	1	3	11	2	17 estudios

#### 4.2.4 Cantidad y tipo de radionúclidos

En los 17 estudios incluidos en la revisión, se consideraron 14 tipos distintos de radionúclidos. De estos estudios, 12 consideraron en sus mediciones la administración de Tc<sup>99m</sup> y 13 consideraron el F<sup>18</sup>, 8 utilizaron I<sup>131</sup>, 4 con Y<sup>90</sup>, 3 con G<sup>68</sup>, 2 con In<sup>111</sup>, los otros 8 radionúclidos, Sm<sup>153</sup>, I<sup>123</sup>, Lu<sup>177</sup>, Ra<sup>223</sup>, C<sup>11</sup>, Ir<sup>192</sup>, Ti<sup>201</sup> y Ga<sup>67</sup>, se utilizaron solo en una ocasión.

TABLA 4.9 *Cantidad y tipo de radionúclidos.*

Fuente: Elaboración propia

<i>Radionúclidos</i>	Tc99m	F18	I131	Y90	G68	In111	Otros		
<i>TOTAL</i>	12	13	8	4	3	2	8	50	
<i>%</i>	24,00%	26,00%	16,00%	8,00%	6,00%	4,00%	16,00%	100,00%	

#### 4.2.5 POEs participantes

Del total de los 17 estudios, 2 utilizaron fantasmas para sus mediciones y 1 estudio no especificó la cantidad de participantes en el estudio. De los 14 restantes, el total de profesionales ocupacionalmente expuestos fue de 230 personas, siendo el mínimo de profesionales incluidos: 2, y el máximo: 45. El promedio fue de 15 participantes por estudio. Solo una investigación mencionó los años de experiencia de los trabajadores.

#### 4.2.6 Dosimetría en Cristalino y posicionamiento de TLD según investigación

De los 17 estudios, 14 en mSv o uSv, 2 miden en mGy y sólo 1 no menciona la dosis medida. De estas 17 investigaciones, 3 fueron realizados de manera trimestral: A.Sulieyman et al. y H.

Piwowska-Bilska. et al. utilizaron Tc99m, mientras que C. Walsh et al. utilizó F18. De estos, la dosis mínima medida fue 0,32 mSv, y la dosis máxima 0,5 mSv.

En cuanto al posicionamiento, 3 estudios consideraron la posición de los TLD entre los ojos, otros 4 posicionaron los TLD sobre la frente, 3 estudios los colocaron en la sien derecha y/o izquierda, 2 estudios posicionaron los TLD anterior y posterior a las gafas plomadas y solo uno de los estudios posicionó sus TLD en el cuello del operador. Los restantes 4 estudios no especificaban el posicionamiento de sus dosímetros.

TABLA 4.10 *Dosimetría en Cristalino según estudio.*

Fuente: Elaboración propia.

N°	Estudio	Posicionamiento TLD por POE	Dosis en Cristalino
1	R.Kopec et al 2011 <sup>83</sup>	1 TLD entre los ojos	Cintigramas: hp (3) 3,5+/-0,2 [mSv/GBq] PET/CT: hp(3) 6,1 +/- 0,7 [mSv/GBq]
2	S.Leide-Svegborn et al. 2011 <sup>84</sup>	2 TLD entre los ojos	8 mGay/año
3	E.C.Summers et al. 2012 <sup>85</sup>	2 TLD entre los ojos	4,5 mSv/año
4	A.L.S.I Kubo et al. 2014 <sup>86</sup>	1 TLD en la frente, sin especificar.	SPECT: 1- 3,3 mSv/año PET/CT: 2- 5 mSv/año
5	C. Walsh et al. 2014 <sup>87</sup>	1 TLD, en sien izq.	PET/CT: 0,5 mSv/3 meses, aprox 2 mSv/año.
6	M. Wrzesien et al. 2015 <sup>88</sup>	2 TLD, uno en cada sien.	PET/CT: Ojo derecho: 9,5+/-7 uSv Ojo izquierdo:6,0+/-1,2 uSv

7	G.Sarti et al. 2015 <sup>89</sup>	5 TLD. 2 en cada sien y anteriores a las gafas plomadas, 2 posteriores y 1 central (entre los ojos)	Tc99m-F18: 0,16- 2,18 mSv/año aprox. Y90: <5 mSv/año aprox.
8	I. Bruchmann et al. 2016 <sup>90</sup>	2 TLD sobre los ojos der e izq, sin gafas plomadas. 2 TLD, sobre los ojos der e izq, con gafas plomadas.	No especifica
9	J, Dabin et al. 2016 <sup>91</sup>	1 TLD en la sien der o izq, o 1 TLD en el brazo der o izq de los lentes del operador.	Hp(3): 0.6 to 9.3 mSv/año aprox
10	J. Guiu-Souto et al. 2016 <sup>92</sup>	Punto medio del cuello.	3.9 ± 0.6 mSv/año aprox
11	Yong In Cho et al. 2016 <sup>93</sup>	Órganos oculares, utilizando una simulación virtual.	Tc99m en Cristalino: 1,228 uGyh-1 Tc <sup>99m</sup> : 124.97 µGy/año
12	T.A. da Silva et al. 2016 <sup>94</sup>	No especifica	Hp (3): <20 – 139 uSv/ 7 meses
13	M. Alnaaimi et al. 2017 <sup>95</sup>	En la frente, sin especificar lugar ni n° de TLD.	Hp(3): 4,5 mSv/año
14	A.Sulieman et al. 2018 <sup>96</sup>	No especifica	Hp (*) Trimestral: 0.5 mSv Hp (*) Anual: 2.2 mSv aprox
15	H. Piwowarska-Bilska. et al. 2018 <sup>97</sup>	No especifica	Hp (3) trimestral: 0.20–0.72 mSv Hp (3) anual: 0.80–3.00 mSv
16	M. Wrzesień et al. 2018 <sup>98</sup>	2 TLD, sobre ojo izq y der.	Hp (3) promedio para Tc <sup>99m</sup> : 23,6 (uSv) Hp (3) promedio para I <sup>131</sup> : 8 (µSv) Hp (3) promedio para F <sup>18</sup> : 26.6 (µSv)

17	M. Wrzesień et al. 2018 <sup>99</sup>	3 TLD, todos en la frente del operador. 2 sobre los ojos y 1 central.	<p>Hp (3) promedio de un día según posición, en 2 centros:</p> <p>Izquierdo: 26,3- 37,1 (uSv)</p> <p>Derecho: 27,3 – 30,6 (uSv)</p> <p>Medio: 30,4 – 32,5 (uSv)</p> <p>Hp (3) promedio max - min anual estimado en un año (260 días):</p> <p>Cristalino der: 30,2- 4,2 (mSv)</p> <p>Cristalino Izq: 21,6- 4,2 (mSv)</p>
----	---------------------------------------	---	---

\*: No queda claro si utiliza Hp (3) o (0,07).

## CAPÍTULO 5 : DISCUSIÓN

La presente investigación correspondió a una revisión bibliográfica y a un reporte de caso. La primera consistió en la revisión de la base de datos proporcionada por la Universidad de Valparaíso, mientras que el segundo consistió en el seguimiento de un POE, y la consecuente descripción del equivalente de dosis personal acumulada trimestralmente a nivel de su Cristalino. Ambos procedimientos en conjunto buscaron contextualizar y describir la situación actual de la dosimetría en uno de los órganos más radiosensibles<sup>54</sup>.

La base de datos proporcionada por la Universidad de Valparaíso permitió realizar una exhaustiva revisión bibliográfica, ya que de 5.092 estudios filtrados fueron seleccionados 17, los cuales cumplían con los criterios de selección e inclusión previamente establecidos. De los 17 estudios, solamente Kubo et al.<sup>85</sup> y T.A. da Silva et al.<sup>97</sup> publicaron en Latinoamérica, específicamente en Brasil. Es por esto que surgió el interés por investigar la actual condición dosimétrica del Cristalino en Chile.

Al leer la legislación actual quedó de manifiesto su nula actualización, puesto que el límite de dosis en Cristalino está establecido en 500 REM/año<sup>70</sup>, lo cual está muy por sobre la norma internacional vigente de 20 mSv/año<sup>68</sup>. Además, se evidenció un vacío legal respecto al uso de protección radiológica, puesto que la normativa sugiere su uso, pero no lo regulariza, quedando a criterio del profesional expuesto el uso de gafas plomadas<sup>70</sup>.

Considerando la realidad laboral de un POE y la normativa chilena actual, surgió la pregunta de investigación: ¿Cuál es el equivalente de dosis personal acumulada recibida durante tres meses a nivel del Cristalino del Tecnólogo Médico?, enfocado al momento de la marcación y administración del radiotrazador en los exámenes del Centro de Medicina Nuclear Viña del Mar.

Es por lo mencionado anteriormente, que en la presente investigación se realizó un reporte de caso, el cual buscó representar la realidad laboral de una Tecnólogo Médico del Centro de Medicina Nuclear Viña del Mar, al medir el equivalente de dosis personal que la profesional

recibe a nivel del Cristalino. Para esto fue necesario utilizar cuatro TLD, dos por cada periodo de medición (Julio-Agosto y Septiembre), modelos 100 Batch XY con cristales de Fluoruro de Litio dopado con manganeso, cobre y fósforo: Mg,Cu,P sólidos<sup>75</sup> correctamente sensibilizados para el tipo de radiación que se manipula en el servicio.

Uno de estos TLD fue posicionado en el brazo derecho de las gafas plomadas para obtener el equivalente de dosis personal externa a éstas y el otro fue sujetado a una banda en la frente y posicionado en la sien derecha de la profesional. El posicionar los TLD en las sienes, ya sea derecha y/o izquierda, se sugiere en C. Walsh et al. 2014<sup>93</sup>, M. Wrzesien et al. 2015<sup>95</sup>, G.Sarti et al. 2015<sup>99</sup>, I. Bruchmann et al. 2016<sup>101</sup> y J, Dabin et al. 2016<sup>86</sup>.

Los valores dosimétricos obtenidos durante los meses de Julio y Agosto del 2018 fueron 0,64 mSv y 0,41 mSv, respectivamente. En tanto, en el mes de Septiembre del 2018 la lectura dosimétrica fue de 0,33 mSv externo y 0,21 mSv interno. De forma trimestral se obtuvieron, por lo tanto, 0,97 mSv por anterior a las gafas, y 0,62 mSv por posterior a las gafas. De la revisión bibliográfica destacan tres estudios de duración trimestral, Sulieman et al.<sup>89</sup> y Piwowska-Bilska. et al.<sup>90</sup> usaron Tc99m, los cuales describieron una dosis Hp(3) de 0,5 mSv y 0,32 mSv respectivamente. Walsh et al.<sup>93</sup> utilizó el radionúclido F18, por lo que describió una dosis de 0,5 mSv.

Uno de los objetivos, al comenzar a estructurar la presente investigación, era obtener una lectura dosimétrica para cada uno de los meses en estudio, pero esto no fue posible debido a que a final del mes de Julio el Físico Médico a cargo de dicho proceso no se encontraba en el país, por lo cual no se pudo realizar el cambio de dosímetros. Debido a esto se sugirió obtener lecturas de los periodos correspondientes a los meses de Julio-Agosto en conjunto, y Septiembre, impidiendo así una descripción dosimétrica mensual.

Por otra parte, también fue necesario registrar diariamente en una bitácora el número de exámenes realizados por la profesional, según tipo de estudio y la correspondiente Actividad de los radiotrazadores utilizados durante el trimestre en estudio. El valor de la Actividad manipulada fue de 3445,52 mCi en Julio - Agosto, y 1549,2 mCi en Septiembre, dando un total trimestral de 5150,15 mCi. En la revisión bibliográfica sólo Sulieman et al.<sup>89</sup>, presenta esta información,

entregando una Actividad manipulada por examen de 925 MBq (25 mCi), 155.5 MBq (4.2 mCi) y 148 MBq (4 mCi), para estudios cintigramas óseos, tiroideos y renales respectivamente.

También se registró diariamente el tiempo de exposición por examen, el cual comprendió desde el momento en que la profesional realiza el marcaje, hasta la eliminación del material de punción. El tiempo de exposición total en el trimestre fue de 59 horas con 2 minutos y 5 segundos. Al formular la propuesta de esta investigación, se pretendía hacer una separación tanto del tiempo de exposición como de la medición dosimétrica, entre marcación y administración. Pero en la práctica no fue factible, debido a falta de dosímetros para un estudio de estas características, y principalmente, por lo inconveniente del proceso, puesto que el cambio constante de dosímetros entorpecería el trabajo de la profesional aumentando consecuentemente el tiempo de exposición. Otros estudios<sup>83,84,85,86,88,92,95,98,99</sup> lograron hacer esta diferenciación en los procedimientos antes mencionados, pero difieren con la presente investigación debido a que estos no son efectuados por el mismo profesional.

También se esperaba poder medir la distancia entre Cristalino y Sitio de punción, tal como lo hicieron Bruchmann et al.<sup>94</sup> y Yong In Cho et al.<sup>96</sup>, los cuales utilizaron fantomas para sus estimaciones de dosis. Pero al comenzar con las mediciones, fue evidente que el medir la distancia en una situación laboral cotidiana no es viable debido a los movimientos constantes de la profesional, a veces de una sala a otra, por las características de cada examen y/o paciente, lo cual se traduce en una variación constante de la distancia Cristalino y Sitio de punción, imposible de definir.

Una de las limitaciones más importantes del lugar de trabajo fue el equipo utilizado, una Sophycámara, modelo DSX Bodytrack, del año 1990, fabricada en París, Francia. Ésta corresponde a la gammacámara del CMNVMH, en donde la profesional realiza la mayoría de los procedimientos. Este equipo presentó constantes fallas mecánicas durante el periodo de investigación, las cuales fueron corregidas por el ingeniero del servicio lo antes posible. A pesar de esto, se generó una disminución en la carga laboral de la profesional durante la falla del equipo, por lo cual las medidas dosimétricas registradas a nivel del Cristalino podrían haber sido mayores.

Tampoco se pudo diferenciar dosimétricamente entre los procedimientos hechos en uno u otro centro, puesto que el número de dosímetros en uso no fue suficiente para ello.

El estudio contó con la supervisión de profesionales en Medicina Nuclear, y de un Físico Médico, quienes apoyaron a las investigadoras para un correcto manejo de los instrumentos de medición, con la finalidad de que los resultados fueran lo más fidedignos posible a la realidad. Sin embargo, el formato de Reporte de Caso presenta limitaciones propias, siendo la principal el hecho que la investigación refleja la realidad de sólo un individuo en particular, lo que hace imposible comparar o extrapolar resultados a otras realidades laborales. A pesar de esto, la metodología puede ser aplicada en otros estudios que busquen registrar el equivalente de dosis personal en el área de Medicina Nuclear.

Del estudio surgen algunas interrogantes, primero, cuál sería el equivalente de dosis personal medida en un POE con menos experiencia en el área de MN, puesto que como lo señalan seis de los estudios revisados<sup>84,86,89,91,92,97</sup>, la falta de experiencia se refleja en un aumento considerable de las dosis recibidas a nivel del Cristalino, y segundo, cuánto cambiará la lectura dosimétrica a nivel de Cristalino cuando la profesional estudiada utilice  $I^{131}$  en el servicio de Medicina Nuclear Viña del Mar, modificación que se espera implementar durante el 2019.

## CAPÍTULO 6 : CONCLUSIÓN

El área de Medicina Nuclear ofrece una vasta gama de posibilidades de estudios diagnósticos y de tratamientos, utilizando fuentes radiactivas abiertas, las cuales a través de su manipulación conllevan el riesgo de contaminación y sobreexposición a la radiación ionizante.

Se realizó una rápida búsqueda bibliográfica, en la cual se descubrió que el límite de dosis para Cristalino en la legislación chilena actual es de 500 REM/año o 300 mSv/año<sup>70</sup>, lo cual excede con creces los 20 mSv/año recomendados internacionalmente por la ICRP<sup>68</sup>. Además, se halló que tampoco es obligatorio contar con un registro sobre las dosis recibidas en dicho tejido<sup>70</sup>.

Ante la falta de información sobre la dosis recibida a nivel del Cristalino del profesional ocupacionalmente expuesto en la realidad laboral chilena, el presente estudio buscó describir el equivalente de dosis personal acumulada en términos de Hp (3) durante un trimestre (Julio, Agosto, Septiembre 2018) a nivel del Cristalino del Tecnólogo Médico, el cual, mediante un reporte de caso, busca realizar una aproximación a lo que podría ser la exposición del Cristalino frente a condiciones de trabajo reales en el área de Medicina Nuclear. Para la elaboración del reporte de caso, se observó a la encargada de la preparación del radiotrazador, administración y posterior adquisición de imágenes de los pacientes. El estudio se centró en los tiempos de exposición en los dos primeros procesos, puesto que conllevan la manipulación directa del radiotrazador por parte del profesional desde el momento de marcaje, hasta la eliminación de los materiales de punción.

Durante el trimestre en estudio se contabilizaron un total de 236 exámenes realizados por la Tecnóloga Médico, en los que obtuvo aproximadamente, un equivalente de dosis personal acumulada a nivel del cristalino de 0,3 mSv/mes por anterior a las gafas y de 0,2 mSv/mes por posterior a las gafas. Por lo que se puede concluir que, ya sea utilizando o no protección radiológica ocular, estas mediciones no sobrepasan el límite de dosis establecido por ICRP (20 mSv/año). Sin embargo, sí sobrepasan el menor nivel de registro de 0,1 mSv<sup>78</sup>, por lo que las investigadoras consideran relevante monitorear la dosis recibida al nivel del Cristalino.

Adicionalmente, se realizó una revisión bibliográfica en los buscadores asociados a la Universidad de Valparaíso, en los cuales resultó un total de 5.092 estudios posterior a la aplicación de los filtros seleccionados. De éstos se seleccionaron diecisiete estudios centrados en medir la dosis de radiación en el Cristalino de los profesionales ocupacionalmente expuestos en el área de Medicina Nuclear. Cabe destacar que, de este grupo de seleccionados, solamente dos tenían procedencia latinoamericana, siendo ambos de Brasil. Con esto se concluye que, a nivel latinoamericano, existe una falta de información sobre la dosimetría y condiciones de radioprotección en las cuales se desempeñan los trabajadores de Medicina Nuclear.

De la revisión bibliográfica también se concluye que desde el año 2010 a la actualidad existe un creciente interés por el estudio de la dosis en Cristalino en el área de Medicina Nuclear, ya que, en los años 2016, 2017 y 2018 se contabilizó un total de 10 estudios, de los 17 seleccionados.

Once de los estudios seleccionados se centran en el área de PET/CT, sin embargo, la presente investigación se realizó en el área más convencional de la Medicina Nuclear, por lo que se sugiere ampliar la investigación a otros centros que cuenten con modalidades de trabajo más complejas y energéticas, ya que en éstas es esperable un aumento considerable en la radiación recibida por el personal, como quedó en evidencia en la Tabla 4.5 de la revisión bibliográfica.

Además, se considera que mayores investigaciones son necesarias, no sólo en otros centros, sino también en otros momentos de exposición, como lo es la adquisición de imágenes. Esto último con la finalidad de optimizar los resultados obtenidos y así mejorar la gestión y políticas locales sobre radioprotección en el área de Medicina Nuclear.

## CAPÍTULO 7 : BIBLIOGRAFÍA

1. Núñez M., Protección radiológica en Medicina Nuclear [Monografía en Internet]. Asociación Latinoamericana de Sociedades de Biología y Medicina Nuclear ,2008[Citado 29 Agosto 2018]. Disponible en:  
[https://www.alasbimn.net/comites/tecnologos/material/Proteccion\\_radiologica.pdf](https://www.alasbimn.net/comites/tecnologos/material/Proteccion_radiologica.pdf)
2. IAEA: International Atomic Energy Agency [Internet]. Viena: IAEA; c2013 [citado 5 abril 2017]. “Estudio del OIEA sobre las cataratas”. Disponible en:  
[https://rpop.iaea.org/RPOP/RPoP/Contentes/InformationFor/HealthProfessionals/1\\_Radiology/QuantitiesUnits.htm](https://rpop.iaea.org/RPOP/RPoP/Contentes/InformationFor/HealthProfessionals/1_Radiology/QuantitiesUnits.htm)
3. IAEA: International Atomic Energy Agency [Internet]. Viena: IAEA; c2013 [citado 7 abril 2017]. “Estudio piloto de la Dosis en cristalina en la práctica de radiología intervencionista”. Disponible en: [https://rpop.iaea.org/RPOP/RPoP/Contentes/InformationFor/HealthProfessionals/1\\_Radiology/QuantitiesUnits.htm](https://rpop.iaea.org/RPOP/RPoP/Contentes/InformationFor/HealthProfessionals/1_Radiology/QuantitiesUnits.htm)
4. DT.Gob: Dirección del trabajo Gobierno de Chile [Internet]. Chile: DT.Gob; [citado 7 abril 2017]. “Reglamento de protección radiológica de instalaciones radiactivas”. Disponible en:  
[http://www.dt.gob.cl/legislacion/1611/articles-79239\\_recurso\\_1.pdf](http://www.dt.gob.cl/legislacion/1611/articles-79239_recurso_1.pdf)
5. Comisión Chilena de Energía Nuclear.Efectos de las radiaciones ionizantes en los seres humanos.CCHEN[Internet]2010[Consultado 8 abril 2017].Disponible en:  
[oirs.cchen.cl/saber/PDF/efectos\\_biologicos\\_mayo2010.pdf](oirs.cchen.cl/saber/PDF/efectos_biologicos_mayo2010.pdf)
6. Bushong S.C. Manual de Radiología para Técnicos. 9th Ed. Texas(Estados Unidos): Elsevier Academic Press; c2010. Capítulo 1, Física Radiológica:5-54?
7. Bushong S.C. Manual de Radiología para Técnicos. 9th Ed. Texas(Estados Unidos): Elsevier Academic Press; c2010. Capítulo 2, El haz de rayos X:140
8. Bushong S.C. Manual de Radiología para Técnicos. 9th Ed. Texas(Estados Unidos): Elsevier Academic Press; c2010. Capítulo 2, El haz de rayos X:143

9. Henriques S., Siete cosas que hay que saber de los radioisótopos[Monografía en Internet]. Organismo Internacional de Energía Atómica,2014[Citado 28 Agosto 2018]. Disponible en: [https://www.iaea.org/sites/default/files/55405810809\\_es.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/55405810809_es.pdf)
10. Gallego Díaz E., Radiaciones Ionizantes y protección radiológica[Monografía en Internet]. Foro de la Industria Nuclear Española [aprox 32 pag][Citado 28 Agosto 2018]. Disponible en: 62.43.237.121/nuclear\_radi.pdf
11. Universidad de Navarra, Radiaciones Ionizantes [Monografía en Internet]. Universidad de Navarra [aprox 10 pag][Citado 28 Agosto 2018]. Disponible en: [www.unavarra.es/digitalAssets/146/146686\\_100000Radiaciones-ionizantes.pdf](http://www.unavarra.es/digitalAssets/146/146686_100000Radiaciones-ionizantes.pdf)
12. Díaz García C., Haro del Moral F.J, Técnicas de exploración en Medicina Nuclear. 1 st Ed.Madrid(España): MASSON; c2004. Capítulo 1, Visión de conjunto del diagnóstico médico por imagen:15
13. Díaz García C., Haro del Moral F.J, Técnicas de exploración en Medicina Nuclear. 1 st Ed.Madrid(España): MASSON; c2004. Capítulo 1, Visión de conjunto del diagnóstico médico por imagen:13
14. Díaz García C., Haro del Moral F.J, Técnicas de exploración en Medicina Nuclear. 1 st Ed.Madrid(España): MASSON; c2004. Capítulo 1, Visión de Conjunto del Diagnóstico Médico por Imagen:14
15. Díaz García C., Haro del Moral F.J, Técnicas de exploración en Medicina Nuclear. 1 st Ed.Madrid(España): MASSON; c2004. Capítulo 3, Bases químicas de Medicina Nuclear: Radionúclidos y Radiofármacos:45
16. Díaz García C., Haro del Moral F.J, Técnicas de exploración en Medicina Nuclear. 1 st Ed.Madrid(España): MASSON; c2004. Capítulo 3, Bases químicas de Medicina Nuclear: Radionúclidos y Radiofármacos:47
17. Díaz García C., Haro del Moral F.J, Técnicas de exploración en Medicina Nuclear. 1 st Ed.Madrid(España): MASSON; c2004. Capítulo 2, Bases Físicas de la Medicina Nuclear:30

18. Díaz García C., Haro del Moral F.J, Técnicas de exploración en Medicina Nuclear. 1 st Ed.Madrid(España): MASSON; c2004. Capítulo 8, Estudios Isotópicos en Musculoesquelético y Densitometría Ósea
19. Díaz García C., Haro del Moral F.J, Técnicas de exploración en Medicina Nuclear. 1 st Ed.Madrid(España): MASSON; c2004. Capítulo 18, Estudios Isotópicos en Oncología
20. Núñez M., Protección radiológica en Medicina Nuclear [Monografía en Internet]. Asociación Latinoamericana de Sociedades de Biología y Medicina Nuclear ,2008[Citado 29 Agosto 2018]. Disponible en:  
[https://www.alasbimn.net/comites/tecnologos/material/Proteccion\\_radiologica.pdf](https://www.alasbimn.net/comites/tecnologos/material/Proteccion_radiologica.pdf)
21. Díaz García C., Haro del Moral F.J, Técnicas de exploración en Medicina Nuclear. 1 st Ed.Madrid(España): MASSON; c2004. Capítulo 6, Bases tecnológicas de la medicina nuclear. La adquisición y el procesado de imagen:103.
22. Díaz García C., Haro del Moral F.J, Técnicas de exploración en Medicina Nuclear. 1 st Ed.Madrid(España): MASSON; c2004. Capítulo 1, Visión de conjunto del diagnóstico médico por imagen:105
23. Díaz García C., Haro del Moral F.J, Técnicas de exploración en Medicina Nuclear. 1 st Ed.Madrid(España): MASSON; c2004. Capítulo 8, Estudios Isotópicos del sistema musculoesquelético y densitometría ósea:131
24. Díaz García C., Haro del Moral F.J, Técnicas de exploración en Medicina Nuclear. 1 st Ed.Madrid(España): MASSON; c2004. Capítulo 9, Estudios isotópicos en cardiología:151
25. Díaz García C., Haro del Moral F.J, Técnicas de exploración en Medicina Nuclear. 1 st Ed.Madrid(España): MASSON; c2004. Capítulo 8, Estudios Isotópicos del sistema musculoesquelético y densitometría ósea :131
26. Díaz García C., Haro del Moral F.J, Técnicas de exploración en Medicina Nuclear. 1 st Ed.Madrid(España): MASSON; c2004. Capítulo 8, Estudios Isotópicos del sistema musculoesquelético y densitometría ósea :132

27. Díaz García C., Haro del Moral F.J, Técnicas de exploración en Medicina Nuclear. 1 st Ed.Madrid(España): MASSON; c2004. Capítulo 9, Estudios Isotópicos en Cardiología:151-160
28. Beretta M., Mut F., Pruebas de estrés farmacológico en cardiología nuclear. Revista Uruguaya de Cardiología[Internet].Redalyc;2018.[Consultado 28 Abril];24:112-125. Disponible en: <https://www.redalyc.org/html/4797/479749403007/>
29. Opazo C., Manual de procedimientos de Medicina Nuclear[Monografía en Internet]. Hospital Clínico Viña del Mar ,2011[Citado 29 Agosto 2018]. Disponible en: [http://www.nuclearvina.cl/manuales/Manual\\_de\\_procedimientos.pdf](http://www.nuclearvina.cl/manuales/Manual_de_procedimientos.pdf)
30. Díaz García C., Haro del Moral F.J, Técnicas de exploración en Medicina Nuclear. 1 st Ed.Madrid(España): MASSON; c2004. Capítulo 14, Estudios isotópicos de nefrourología:245
31. Díaz García C., Haro del Moral F.J, Técnicas de exploración en Medicina Nuclear. 1 st Ed.Madrid(España): MASSON; c2004. Capítulo 9, Estudios Isotópicos en Cardiología:154-155
32. Díaz García C., Haro del Moral F.J, Técnicas de exploración en Medicina Nuclear. 1 st Ed.Madrid(España): MASSON; c2004. Capítulo 14, Estudios Isotópicos en Nefrourología:247
33. Díaz García C., Haro del Moral F.J, Técnicas de exploración en Medicina Nuclear. 1 st Ed.Madrid(España): MASSON; c2004. Capítulo 14, Estudios Isotópicos en Nefrourología:248
34. Lovera C., Sistema Nefrourológico[Manual en Internet]. Universidad San Sebastian. [Citado 2 Septiembre 2018]. Disponible en: [http://www.medicinanuclear.cl/spect\\_3-nefro.htm](http://www.medicinanuclear.cl/spect_3-nefro.htm)
35. Díaz García C., Haro del Moral F.J, Técnicas de exploración en Medicina Nuclear. 1 st Ed.Madrid(España): MASSON; c2004. Capítulo 14, Estudios isotópicos en endocrinología:206
36. Díaz García C., Haro del Moral F.J, Técnicas de exploración en Medicina Nuclear. 1 st Ed.Madrid(España): MASSON; c2004. Capítulo 14, Estudios isotópicos en endocrinología:207
37. Díaz García C., Haro del Moral F.J, Técnicas de exploración en Medicina Nuclear. 1 st Ed.Madrid(España): MASSON; c2004. Capítulo 12, Estudios Isotópicos en Endocrinología:218
38. Díaz García C., Haro del Moral F.J, Técnicas de exploración en Medicina Nuclear. 1 st Ed.Madrid(España): MASSON; c2004. Capítulo 11, Estudios isotópicos en neumología:188

39. Díaz García C., Haro del Moral F.J, Técnicas de exploración en Medicina Nuclear. 1 st Ed.Madrid(España): MASSON; c2004. Capítulo 11, Estudios isotópicos en neumología:189
40. Díaz García C., Haro del Moral F.J, Técnicas de exploración en Medicina Nuclear. 1 st Ed.Madrid(España): MASSON; c2004. Capítulo 13, Estudios isotópicos en neurología:229
41. Díaz García C., Haro del Moral F.J, Técnicas de exploración en Medicina Nuclear. 1 st Ed.Madrid(España): MASSON; c2004. Capítulo 10, Estudios isotópicos en patología vascular:179
42. Díaz García C., Haro del Moral F.J, Técnicas de exploración en Medicina Nuclear. 1 st Ed.Madrid(España): MASSON; c2004. Capítulo 15, Estudios isotópicos en patología digestiva:264
43. Comisión Chilena de Energía Nuclear, Dosimetría Personal [Folleto en Internet]. Comisión Chilena de Energía Nuclear[aprox 6pag][Citado 29 Agosto 2018]. Disponible en: [www.cchen.cl/mediateca/PDF/folletos2015/05\\_Tript\\_Dosimetria.pdf](http://www.cchen.cl/mediateca/PDF/folletos2015/05_Tript_Dosimetria.pdf)
44. Correa C.A, Bisauta M.A, Evaluation of personal integrating dosimeters [Monografía en Internet]. National Commission of Atomic Energy [aprox 17 pag][Citado 29 Agosto 2018]. Disponible en: [www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/39/117/39117955.pdf](http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/39/117/39117955.pdf)
45. N.Cherry R, Enciclopedia OIT Volumen II.Ginebra(Suiza): Organización Internacional del Trabajo; c2001. Capítulo 6, Riesgos Generales.Pag 24 Disponible en: [www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/.../EnciclopediaOIT/tomo2/48.pd...](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/.../EnciclopediaOIT/tomo2/48.pd...)
46. González Springer.G, Rabin Lema.C , Para entender las radiaciones: Universidad de la República; c201.Capitulo 5,¿Cómo se mide la radiación?. Pag 27. Disponible en: [divnuclear.fisica.edu.uy/libro/Para\\_entender\\_las\\_radiaciones.pdf](http://divnuclear.fisica.edu.uy/libro/Para_entender_las_radiaciones.pdf)
47. Cancio D., Rudelli M., Recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de la protección radiológica [Monografía en Internet]. Comisión internacional de la Protección Radiológica. Pag23 [aprox 117pag][Citado 29 Agosto 2018]. Disponible en: [www.icrp.org/docs/P103\\_Spanish.pdf](http://www.icrp.org/docs/P103_Spanish.pdf)

48. Cancio D., Rudelli M., Recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de la protección radiológica [Monografía en Internet]. Comisión internacional de la Protección Radiológica. Pag29 [aprox 117pag][Citado 29 Agosto 2018]. Disponible en:  
[www.icrp.org/docs/P103\\_Spanish.pdf](http://www.icrp.org/docs/P103_Spanish.pdf)
49. Cancio D., Rudelli M., Recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de la protección radiológica [Monografía en Internet]. Comisión internacional de la Protección Radiológica. Pag24 [aprox 117pag][Citado 29 Agosto 2018]. Disponible en:  
[www.icrp.org/docs/P103\\_Spanish.pdf](http://www.icrp.org/docs/P103_Spanish.pdf)
50. Cancio D., Rudelli M., Recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de la protección radiológica [Monografía en Internet]. Comisión internacional de la Protección Radiológica. Pag63 [aprox 117pag][Citado 29 Agosto 2018]. Disponible en:  
[www.icrp.org/docs/P103\\_Spanish.pdf](http://www.icrp.org/docs/P103_Spanish.pdf)
51. Brosed Serreta A. Delgado Martinez A, Nuevas Magnitudes ICRU para la vigilancia radiológica ambiental e individual.[Monografía en Internet]. Centro de investigaciones energéticas, medioambientales y tecnológicas. Pag17 [aprox 98 pag][Citado 29 Agosto 2018]. Disponible en: [www.icrp.org/docs/P103\\_Spanish.pdf](http://www.icrp.org/docs/P103_Spanish.pdf)
52. Gisone P.,Pérez M.,Efectos biológicos de la radiación. [Monografía en Internet].Sociedad Argentina de radioprotección. [aprox 23pag][Citado 32 Agosto 2018]. Disponible en:  
<https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/33/052/33052454.pdf>
53. Vivallo L., Villanueva L.,Efectos de las radiaciones ionizantes en el ser humano. [Informe en Internet].Comisión Chilena de Energía Nuclear. [aprox 38pag][Citado 32 Agosto 2018]. Disponible en: [http://oirs.cchen.cl/saber/PDF/efectos\\_biologicos\\_mayo2010.pdf](http://oirs.cchen.cl/saber/PDF/efectos_biologicos_mayo2010.pdf)
54. Núñez M., Efectos biológicos de las radiaciones-Dosimetría.[Informe en Internet]. Comité de Tecnólogos de ALASBIMN 2008.[aprox 11 pag][Citado 32 Agosto 2018].Disponible en:  
[https://www.alasbimn.net/comites/tecnologos/material/Efectos\\_biologicos\\_de\\_las\\_radi](https://www.alasbimn.net/comites/tecnologos/material/Efectos_biologicos_de_las_radi)

55. Escuela de Odontología., Efectos Biológicos de las Radiaciones Ionizantes.[Monografía en Internet]. Universidad de Buenos Aires.Pag 54[Citado 32 Agosto 2018].Disponible en: [www.odon.uba.ar/uacad/biofisica/rasclases/clase04](http://www.odon.uba.ar/uacad/biofisica/rasclases/clase04)
56. Escuela de Odontología., Efectos Biológicos de las Radiaciones Ionizantes.[Monografía en Internet]. Universidad de Buenos Aires.Pag 55[Citado 32 Agosto 2018].Disponible en: [www.odon.uba.ar/uacad/biofisica/rasclases/clase04](http://www.odon.uba.ar/uacad/biofisica/rasclases/clase04)
57. Escuela de Odontología., Efectos Biológicos de las Radiaciones Ionizantes.[Monografía en Internet]. Universidad de Buenos Aires.Pag 56[Citado 32 Agosto 2018].Disponible en: [www.odon.uba.ar/uacad/biofisica/rasclases/clase04](http://www.odon.uba.ar/uacad/biofisica/rasclases/clase04)
58. Kaufman P.,Alm A.,Adler Fisiología del Ojo. 10th Ed.Madrid(España): :ELSEVIER Academic Press; c2004.Capítulo 3, Cristalino:117.
59. Kaufman P.,Alm A.,Adler Fisiología del Ojo. 10th Ed.Madrid(España): :ELSEVIER Academic Press; c2004.Capítulo 3, Cristalino:122
- 60.Kaufman P.,Alm A.,Adler Fisiología del Ojo. 10th Ed.Madrid(España): :ELSEVIER Academic Press; c2004.Capítulo 3, Cristalino:118.
61. Kaufman P.,Alm A.,Adler Fisiología del Ojo. 10th Ed.Madrid(España): :ELSEVIER Academic Press; c2004.Capítulo 3, Cristalino:130.
62. Kaufman P.,Alm A.,Adler Fisiología del Ojo. 10th Ed.Madrid(España): :ELSEVIER Academic Press; c2004.Capítulo 3, Cristalino:137.
63. González García J.,Santos Silva D.,Complicaciones Tardías de la Radioterapia Ocular.Revoftalmologia[Internet].2018[Consultado];29(1):145. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3574249/>
64. Bushong S.,Manual Radiología para Técnicos. 9th Ed.Texas(Estados Unidos): :ELSEVIER Academic Press; c2010.Capítulo 7, Protección Radiológica:571.
65. Cancio D., Rudelli M., Recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de la protección radiológica [Monografía en Internet]. Comisión internacional de la Protección Radiológica.[aprox 117pag][Citado 29 Agosto 2018]. Disponible en: [www.icrp.org/docs/P103\\_Spanish.pdf](http://www.icrp.org/docs/P103_Spanish.pdf)

66. Cancio D., Rudelli M., Recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de la protección radiológica [Monografía en Internet]. Comisión internacional de la Protección Radiológica. Pag13 [aprox 117pag][Citado 29 Agosto 2018]. Disponible en: [www.icrp.org/docs/P103\\_Spanish.pdf](http://www.icrp.org/docs/P103_Spanish.pdf)
67. Cancio D., Rudelli M., Recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de la protección radiológica [Monografía en Internet]. Comisión internacional de la Protección Radiológica. Pag40 [aprox 117pag][Citado 29 Agosto 2018]. Disponible en: [www.icrp.org/docs/P103\\_Spanish.pdf](http://www.icrp.org/docs/P103_Spanish.pdf)
68. Comisión Internacional de la Protección Radiológica., Recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de la protección radiológica [Internet]. Comisión internacional de la Protección Radiológica.[Citado 2 Septiembre 2018]. Disponible en: [www.icrp.org](http://www.icrp.org)
69. OIEA., Normas de Seguridad del OIEA para la protección de las personas y el medioambiente.[Informe en Internet]. Organismo Internacional de Energía Atómica.[aprox 492 pag] Capitulo 3[Citado 2 Septiembre 2018].Disponible en: [https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/P1578\\_S\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/P1578_S_web.pdf)
70. Ministerio de Salud , Reglamento N° 3 de Protección Radiológica de Instalaciones Radiactivas[Decreto en Internet]. República de Chile. [aprox 5 pag][Citado 2 Septiembre 2018]. Disponible en: [www.dt.gob.cl/legislacion/1624/w3-article-79239.html](http://www.dt.gob.cl/legislacion/1624/w3-article-79239.html)
71. Ruíz A.,Morillo L., Epidemiología Clínica: Investigación Clínica Aplicada.Bogotá(Colombia):Panamericana;c2004. Disponible en:[https://books.google.cl/books?id=2UN-khOULAkC&pg=PA90&lpg=PA90&dq=car%C3%A1cter+novedoso+reporte+de+caso&source=bl&ots=KtMvI29y\\_K&sig=WG6IiK7TiW30ZTdGiUBB1UtRpwA&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiN5om51szdAhWDh5AKHUIGA20Q6AEwDnoECAMQAQ#v=onepage&q&f=false](https://books.google.cl/books?id=2UN-khOULAkC&pg=PA90&lpg=PA90&dq=car%C3%A1cter+novedoso+reporte+de+caso&source=bl&ots=KtMvI29y_K&sig=WG6IiK7TiW30ZTdGiUBB1UtRpwA&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiN5om51szdAhWDh5AKHUIGA20Q6AEwDnoECAMQAQ#v=onepage&q&f=false)
72. Vilanova J.C.,Revisión Bibliográfica del tema de estudio de una proyecto de investigación.SERAM[Internet].2018[Consultado 20 Septiembre];54(2):108-114. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0033833811002189>

73. BarRay. "Catálogo BarRay de artículos de protección personal" [folleto]. Pennsylvania, Estados Unidos: BarRay; 2012. Disponible en:  
<http://www.brownsmedicalimaging.com/wp-content/uploads/Bar-Ray-Catalog.pdf>
74. Comisión Chilena de Energía Nuclear. "Ficha técnica- Dosímetro PD3" [Internet]. Santiago; [21 Dic 2017]. Disponible en:  
[http://servicios.cchen.cl/PortalNegocio/infordosimet/Ficha\\_t%C3%A9cnica\\_PD3.pdf](http://servicios.cchen.cl/PortalNegocio/infordosimet/Ficha_t%C3%A9cnica_PD3.pdf)
75. RADCARD.EYE-Dtm Eye lens TLD dosimeter. [Folleto en Internet].RADCARD.[Citado 20 Septiembre]. Disponible en: <http://www.radcard.pl/>
76. Ingefisic.cl[Internet]. Santiago de Chile: Ingefisic;2011[citado 18 Dic 2017]. Disponible en:  
<http://ingefisic.cl/about.html>
77. Standtmann, H., Hranitzky C., Test and optimization of two routine dosimeters for the dose quantity Hp (3). ELSEVIER[Internet]. ScienceDirect;2014. Disponible en:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1350448714001796>
78. Instituto de Salud Pública de Chile. Uso de magnitud Hp (10) para la vigilancia individual. Ord. 1893, 23/12/2010. [Ordenanza]. República de Chile. [Citado 30 Septiembre 2018].
79. International Electrotechnical Commission. International Standard. IEC[Internet].2012[consultado];Edition(1):76. Disponible en: <https://www.iec.ch/>
79. RADPRO-Manual TLD reader. TLD Cube. [Folleto en Internet].RADCARD.[Citado 30 Septiembre]. Disponible en: <https://www.radpro-int.com/tld-1/tld-reader/>
80. Silamani J., Utilidad y tipos de revisión de literatura. ENE[Internet].2018[Consultado 30 Septiembre];9(2). Disponible en: [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1988-348X2015000200002](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1988-348X2015000200002)
81. Galvéz Toro A., Revisión bibliográfica: usos y utilidades. Matronas Profesión [Internet].2002[Consultado 30 Septiembre];3(10). Disponible en: <http://www.federacion-matronas.org/matronas-profesion/sumarios/revison-bibliografica-usos-y-utilidades/>
82. Green S., Higgins JPT., Manual Cochrane de revisiones sistemáticas de intervenciones.[Manual en Internet]. The Cochrane Collaboration. Pag149 [aprox 639

pag][Consultado 30 Septiembre 2018]. Disponible en:

[https://es.cochrane.org/sites/es.cochrane.org/files/.../Manual\\_Cochrane\\_510\\_reduit.pdf](https://es.cochrane.org/sites/es.cochrane.org/files/.../Manual_Cochrane_510_reduit.pdf)

83. Kopec, R., Wyszomirska A., Czepczynski R., On the relationship between whole body, extremity and eye lens doses for medical staff in the preparation and application of radiopharmaceuticals in nuclear medicine. ELSEVIER[Internet]. ScienceDirect;2011. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1350448711003817>

84. C.Summers E., L.E.Brown J, J.Bownes P., Eye doses to staff in a nuclear medicine department. Nuclear Medicine Communications[Internet].PubMed;2012. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22314805>

85. A.L.S.I Kubo., TLD occupational dose distribution study in nuclear medicine. ELSEVIER[Internet].ScienceDirect;2014. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1350448714001164>

86. Dabin J., Kopéc R., Struelens L. Eye lens doses in nuclear medicine: a multicentric study in Belgium and Poland. Radiation protection Dosimetry.[Internet]PubMed;2016.Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26822424>

87. Guiu-Souto J., Aguiar P., Pombar-Cameán M., Evaluation and optimization of occupational eye lens dosimetry during positron emission tomography (PET) procedures. Journal of Radiological Protection[Internet].PubMed;2016.Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27182832>

88. Alnaaimi M., Bradley D.A. Occupational radiation exposure in nuclear medicine department in Kuwait. ELSEVIER[Internet].ScienceDirect;2017. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0969806X17302359>

89. Sulieman A., Lens dose and radiogenic risk from  $^{99m}\text{Tc}$  Nuclear Medicine examinations. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry[Internet].Springer;2018[Consultado 10 Octubre];318(1):797-801. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10967-018-6178-5>

90. Piwowarska-Bilska., Should personnel of nuclear medicine departments use personal dosimeters for eye lens dose monitoring?. Oxford University Press[Internet].Oxford

Academic;2018. Disponible en: <https://academic.oup.com/rpd/advance-article-abstract/doi/10.1093/rpd/ncy118/5056454?redirectedFrom=fulltext>

91. Wrzesień M., Królicki L., Is eye lens dosimetry needed in nuclear medicine?. Journal of Radiological Protection[Internet].PubMed;2018. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29667600>

92. WrzesienM., 18F-FDG production procedures as a source of eye lens exposure to radiation. Journal of Radiological Protection[Internet].PubMed;2018. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29447122>

93. Walsh C., Connor U., O'reilly G., Eye dose monitoring of PET/CT workers. British institute of radiology.[Internet].PMC;2014. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4170871/>

94. Bruchmann I., Szermerski B., Impact of radiation protection means on the dose to the lens of the eye while handling radionuclides in nuclear medicine.ELSEVIER[Internet].PubMed;2016. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26341280>

95. Wrzesien M., Napolska K., Investigation of radiation protection of medical staff performing medical diagnostic examination by using PET/CT technique. Journal of Radiological Protection[Internet].IOPScience;2015. Disponible en: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0952-4746/35/1/197>

96. Yong In Cho, Ja Mee Kim., Ocular organ dose assessment of nuclear medicine workers handling diagnostic radionuclides. Radiation protection Dosimetry[Internet].Oxford Academic;2016. Disponible en: <https://academic.oup.com/rpd/article-abstract/175/2/209/2313066>

97. A. da Silva T., C. Guimaraes M., Reliability of eye lens dosimetry in workers of a positron emission tomography radiopharmaceutical production facility.ELSEVIER[Internet].PubMed;2016. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26992331>

98. Leide-Svegborn S., External radiation exposure of personnel in nuclear medicine from F18, Tc99m and I131 with special reference to fingers, eyes and thyroid. Radiation Protection

Dosimetry[Internet].PubMed;2011. Disponible en:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21571739>

99. Sarti G., Busca F.,Carpano L.,Dose measurements to the lens in nuclear medicine and in fluoroscopy-guided interventional procedures: analysis of the results and assessment of the effectiveness of protective eyewear anti-x. Radiation protection

Dosimetry[Internet].PubMed;2015. Disponible en:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26535004>

100. Centro Cochrane Iberoamericano, traductores. Manual Cochrane de Revisiones Sistemáticas de Intervenciones, versión 5.1.0 [actualizada en marzo de 2011] [Internet]. Barcelona: Centro Cochrane Iberoamericano; 2012. Disponible en: <http://www.cochrane.es/?q=es/node/269>

101. Szermerski B., Bruchmann I., Behrens R.,Dose rate constants for the quantity Hp(3) for frequently used radionuclides in nuclear medicine. Zeitschrift für Medizinische Physik [Internet].PubMed;2016. Disponible en:<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26702761>

102.Kohutavá R., Jirík V.,Radiation protection of medical staff on PET/CT departments.LF Ostravské university[Internet].PubMed;2015. Disponible en:

<http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=4&sid=38191bef-caf4-4e8b-98be-e28ad29bf470%40pdc-v-sessmgr02>

103. Szumska A., Budzanowski M., Kopéc R., The B-ray energy and angular response of the EYE-D eye-lens dosimeter.ELSEVIER[Internet].ScienceDirect;2013. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1350448713001479>

104. Gualdrini G., Bordy J.M.,Daures J.,Air kerma to Hp(3) conversion coefficients for photons from 10 keV to 10 MeV, calculated in a cylindrical phantom. Radiation Protection

Dosimetry[Internet].PubMed;2013. Disponible en:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23097520>

105. Mariotti F.,Gualdrini G., Fantuzzi E.,A new proposal on the operational quantity Hp(3): Monte Carlo and experimental results.ELSEVIER[Internet].ScienceDirect;2011. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1350448711000254>

106. Pliku D., Mena E., Hobbs R., Combined model- based and patient-specific dosimetry for 18F-DCFPyL, a PSMA-targeted PET agent. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*[Internet].PubMed;2018. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29460025>
107. Wrzesien M., Simplicity or complexity of the radiopharmaceutical production process in the light of optimization of radiation protection of staff Tc99m VS F18. *Medycyna Pracy*[Internet].PubMed;2018. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29790486>
108. Massoudi T., Shayegani H., Sadeghi R., The role of “after washing imaging” in evaluation of tear drainage system by dacryoscintigraphy. *Nuclear Medicine Review* [Internet].PubMed;2018. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29956816>
109. Lecchi M., Malaspina S., Del Sole A., Effective and equivalent dose minimization for personnel in PET procedures: how far are we from the goal?. *European Journal Of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*[Internet].Springerlink;2016. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00259-016-3513-3>
110. Xie T., Zidi H., Development of computational pregnant female and fetus models and assessment of radiation dose from positron-emitting tracers. *European Journal Of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*[Internet].PubMed;2016.Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27349243>
111. L.Gates V., Gabr A., Kallini J., Occupational radiation exposure of medical staff performing Y90-loaded microsphere radioembolization. *European Journal Of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*[Internet].PubMed;2016.Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26686335>
112. Bernier M., Journy N., Villoing D., Cataract risk in a cohort of U.S radiologic technologists performing nuclear medicine procedures. *Radiology*[Internet].PubMed;2017.Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29019450#>
113. Mattson S., Andersson M., Soderberg M., Technological advances in hybrid imaging and impact on dose. *Oxford Academic Press*[Internet].Radiation Protection Dosimetry;2015. Disponible en: <https://academic.oup.com/rpd/article-abstract/165/1-4/410/1599166>

114. Alves da Silva D, Figueiredo Maia A, Machado R, Overview of occupational radiation exposure in medical workers in Santa Catarina, Brazil, between 2014 and 2017. Radiation Protection Dosimetry [Internet]. ResearchGate;2018. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/327209550\\_OVERVIEW\\_OF\\_OCCUPATIONAL\\_RADIATION\\_EXPOSURE\\_IN\\_MEDICAL\\_WORKERS\\_IN\\_SANTA\\_CATARINA\\_BRAZIL\\_BETWEEN\\_2014\\_AND\\_2017](https://www.researchgate.net/publication/327209550_OVERVIEW_OF_OCCUPATIONAL_RADIATION_EXPOSURE_IN_MEDICAL_WORKERS_IN_SANTA_CATARINA_BRAZIL_BETWEEN_2014_AND_2017)
115. Kopec R, Bubak A, Budzanowski M, How do hospital sterilisation procedures affect the response of personal extremity rings and of the eye lens TL dosimeters?. Radiation Protection Dosimetry [Internet]. PubMed;2016. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26868010>
116. Cantone MC, Broughton M, Implications in dosimetry of the implementation of the revised dose limit to the lens of the eye. Radiation Protection Dosimetry [Internet]. PubMed;2015. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25344889>
117. Antic V, Ciraj-Bjelac O, Stankovic J, Radiation exposure to nuclear medicine staff involved in PET/CT practice in Serbia. Radiation Protection Dosimetry [Internet]. PubMed;2014. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24464817>
118. Chen MY, Radiation Protection and regulations for the Nuclear Medicine Physician. Seminars in Nuclear Medicine [Internet]. PubMed;2014. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24832587>
119. Nassef MH, Kinsara AA, Occupational radiation dose for medical workers at a University hospital. Journal of Taibah University for Science [Internet]. ScienceDirect;2017. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1658365517300043>
120. K. Bakht M, Jabal-Ameli H, Bremsstrahlung parameters of praseodymium-142 in different human tissues: a dosimetric perspective for (142)Pr radionuclide therapy. Annals of Nuclear Medicine [Internet]. PubMed;2014. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22528970>

121. Lolas F., Quezada A.,Pautas éticas de investigación en sujetos humanos: Nuevas perspectivas.[Monografía en Internet].Organización Mundial de la Salud. Pag83[pag prox 152][Consultado 2 Octubre 2018]. Disponible en: [www.uchile.cl/documentos/version-en-pdf/76704\\_16\\_1225.pdf](http://www.uchile.cl/documentos/version-en-pdf/76704_16_1225.pdf)

122. Lolas F., Quezada A.,Pautas éticas de investigación en sujetos humanos: Nuevas perspectivas.[Monografía en Internet].Organización Mundial de la Salud. Pag84[pag prox 152][Consultado 2 Octubre 2018]. Disponible en: [www.uchile.cl/documentos/version-en-pdf/76704\\_16\\_1225.pdf](http://www.uchile.cl/documentos/version-en-pdf/76704_16_1225.pdf)

123. Lolas F., Quezada A.,Pautas éticas de investigación en sujetos humanos: Nuevas perspectivas.[Monografía en Internet].Organización Mundial de la Salud. Pag85[pag prox 152][Consultado 2 Octubre 2018]. Disponible en: [www.uchile.cl/documentos/version-en-pdf/76704\\_16\\_1225.pdf](http://www.uchile.cl/documentos/version-en-pdf/76704_16_1225.pdf)

124. Lolas F., Quezada A.,Pautas éticas de investigación en sujetos humanos: Nuevas perspectivas.[Monografía en Internet].Organización Mundial de la Salud. Pag86[pag prox 152][Consultado 2 Octubre 2018]. Disponible en: [www.uchile.cl/documentos/version-en-pdf/76704\\_16\\_1225.pdf](http://www.uchile.cl/documentos/version-en-pdf/76704_16_1225.pdf)

125. Lolas F., Quezada A.,Pautas éticas de investigación en sujetos humanos: Nuevas perspectivas.[Monografía en Internet].Organización Mundial de la Salud. Pag88[pag prox 152][Consultado 2 Octubre 2018]. Disponible en: [www.uchile.cl/documentos/version-en-pdf/76704\\_16\\_1225.pdf](http://www.uchile.cl/documentos/version-en-pdf/76704_16_1225.pdf)

126. Lolas F., Quezada A.,Pautas éticas de investigación en sujetos humanos: Nuevas perspectivas.[Monografía en Internet].Organización Mundial de la Salud. Pag89[pag prox 152][Consultado 2 Octubre 2018]. Disponible en: [www.uchile.cl/documentos/version-en-pdf/76704\\_16\\_1225.pdf](http://www.uchile.cl/documentos/version-en-pdf/76704_16_1225.pdf)

127. Lolas F., Quezada A.,Pautas éticas de investigación en sujetos humanos: Nuevas perspectivas.[Monografía en Internet].Organización Mundial de la Salud. Pag90[pag prox 152][Consultado 2 Octubre 2018]. Disponible en: [www.uchile.cl/documentos/version-en-pdf/76704\\_16\\_1225.pdf](http://www.uchile.cl/documentos/version-en-pdf/76704_16_1225.pdf)

128. Minsal.Ministerio de Salud Gobierno de Chile [Internet]. Chile; [citado 1 Octubre 2018].  
“Ley de Derechos y Deberes de los pacientes”. Disponible en:  
[http://www.dt.gob.cl/legislacion/1611/articles-79239\\_recurso\\_1.pdf](http://www.dt.gob.cl/legislacion/1611/articles-79239_recurso_1.pdf)

## CAPÍTULO 8 : ANEXOS

### ANEXO A. DISPOSICIÓN DE DOSIMETROS (TLD)

Los dosímetros fueron posicionados por anterior a las gafas plomadas, específicamente en la varilla derecha de las gafas y por posterior a las gafas en la sien derecha de la Tecnólogo Médico, según se muestra a continuación:

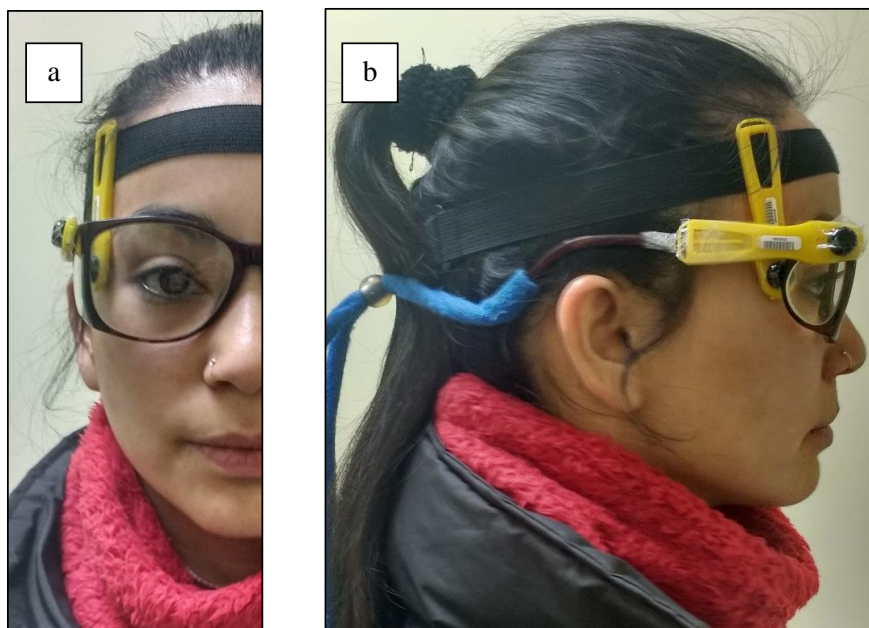


Figura X: Vista anterior (a) y lateral (b) del posicionamiento de los cristales TLD. En b se puede apreciar que el dosímetro en la sien sobresale de la gafa. Este detalle fue corregido al comenzar las mediciones. Fuente: elaboración propia.

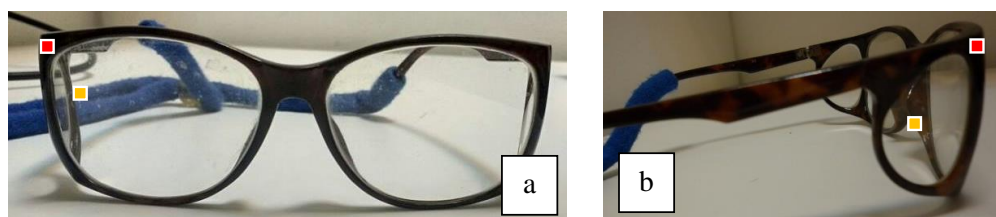


Figura X: Disposición de TLD respecto a los lentes plomados. El cuadrado rojo indica la posición en anterior y el cuadrado amarillo la posición por anterior, en la sien de la profesional. Se puede observar la corrección de posición en la imagen b (visión lateral).

## ANEXO B. PLANILLA EXCEL DE OBSERVACIONES

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	N° Pac	Fecha	Examen	Sala	Act. Inicial (mci)	Hora inicial	Hora Adm	Brazo	Tiempo expo	Background (mRg/hr)	Contaminación (mRg/hr)	Obs.
1												
2	70	01-ago	V.GASTRICO	PASILLO	10,13	9:44	9:52	ORAAAAAL	25'51"	0,7X0,1		
3	71		CO	LAB	22	10:30	10:37	I	25'			
4	72		CO	LAB	25	12:05	12:09	D	22'03"			
5	73	02-ago	CO	LAB	27	9:50	9:58	D	15'30"	0,2X0,1		
6	74		C.T	LAB	11,3	10:25	10:28	I	8'12"			
7	75		CO	LAB	29,6	10:36	10:42	I	8'37"			
8	76		CO	LAB	29	11:05	11:08	I	6'32"			
9	77	06-ago	CO	LAB	27	9:45	9:55	D	9'36"	0,4X0,1		
10	78		CO	LAB	25	10:15	10:24	MANO.D	11'8"			
11	79		CO	LAB	18	11:10	11:17	D	18'2"			
12	80		CO	LAB	19	11:25	11:29	PIE.D	19'20"			
13	81		C.T	LAB	16	11:45	11:52	MANO.D	13'3"			
14	82		CO	LAB	15	11:58	12:05	MANO.D	10'			
15	83	07-ago	CO	LAB	15	9:57	10:01	I	5'08"	0,2X0,1		
16	84		CO	LAB	19	11:17	11:24	I	5'17"			
17	85.A		V/Q	LAB	33	14:48	15:03	INHALADO	30'8"			

Listo

## ANEXO C. PLANILLA EXCEL PARA DATOS DE LA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
Nº	Título	Autores	País	Año de publicación	Tipo de Estudio	Duración del estudio	RI	Nº proc/pac	Act. Adm	Nº Poes	Años de Experiencia	P. TLD x POE	Dosis Cristalino	Distancia	Dif. de medición se etapas
1															
2															
3															
4															
5															

Revision completa

## ANEXO D. CONSENTIMIENTO INFORMADO

### CONSENTIMIENTO INFORMADO

#### Información para Tecnólogo Médico

El propósito del presente documento es invitarlo(a) a participar en el estudio “Descripción de la dosis equivalente acumulada durante tres meses a nivel del cristalino del Tecnólogo Médico, utilizando dosímetros de termoluminiscencia dispuestos por anterior y posterior a las gafas plomadas, al momento de administrar el radiotrazador en Cintigramas Óseos y Perfusiones Miocárdicas en el Hospital Clínico Viña del Mar”. Este estudio será realizado por la investigadora principal, Tecnóloga Médica Christhall Oyarzún Véliz, junto a las estudiantes tesistas Victoria Cárdenas Aguirre y Nicol Carrasco Darrouy en el servicio de medicina nuclear del Hospital Clínico Viña del mar. Usted ha sido elegido(a) por ser el profesional encargado de realizar los dos exámenes señalados.

Para que pueda tomar una decisión informada, le explicaremos a continuación cuáles serán los procedimientos involucrados en la investigación, así como en qué consistirá su participación:

1. La investigación mencionada se realizará durante un periodo de tres meses, entre los años 2017 y 2018, en el Servicio de Medicina Nuclear del Hospital Clínico Viña del Mar, ubicado en calle Limache 1741, Viña del Mar, Región de Valparaíso.
2. El objetivo de la presente investigación es conocer cuál es la cantidad de radiación que llega al cristalino del Tecnólogo Médico cuando administra la dosis de radiotrazador al paciente, para poder así tener un registro y eventualmente, de ser necesario, mejorar los protocolos de protección radiológica.
3. El Cristalino es la parte del ojo que permite enfocar objetos a diferentes distancias, la exposición excesiva a la radiación puede afectarlo, provocando una pérdida de su función e incluso la aparición de cataratas. Los pacientes en Medicina Nuclear se encuentran expuestos a la radiación durante su examen, pero esta exposición se considera mínima, en cambio, los profesionales como el Tecnólogo Médico, se encuentran expuestos cada día, en diferentes ocasiones durante su jornada laboral y, por lo tanto, son más propensos a ser afectados por la radiación.
4. Su participación en la presente investigación consistirá en permitir la observación y registro de su actividad laboral en los exámenes Cintigrama óseo y Perfusión Miocárdica, considerando relevante los siguientes datos: actividad administrada al paciente, tiempo de exposición durante la administración y distancia promedio fuente-dosímetros. Para esto usted deberá usar las gafas plomadas indicadas para cada procedimiento durante la administración del radiotrazador. Además, se necesitarán sus siguientes datos personales: nombre, rut, edad, sexo, lugar de trabajo y dosimetría a nivel de sus cristalinos. Estos datos estarán bajo custodia de la investigadora principal, garantizando su posterior confidencialidad.
5. El registro de los datos será reservado, y sólo tendrán acceso a ellos la investigadora principal y las alumnas tesistas. La información para esta investigación será almacenada en el servicio de Medicina Nuclear del Hospital Clínico, ubicado en calle Limache 1741, Viña del Mar, Región de Valparaíso.
6. Bajo ningún caso la investigación conllevará a una exposición radiológica mayor a la adquirida en los exámenes requeridos por el paciente.

## ACTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

### Tecnóloga Médica Muestra

Yo,.....,C.I..... declaro que la investigadora principal, Christhall Oyarzún Véliz, junto a las alumnas tesisistas Victoria Cárdenas Aguirre y Nicol Carrasco Darrouy de la Carrera de Tecnología Médica, Facultad de Medicina de la Universidad de Valparaíso, me han informado de forma completa en qué consiste la investigación “Descripción de la dosis equivalente acumulada durante tres meses a nivel del cristalino, utilizando TLD dispuestos por anterior y posterior a las gafas plomadas del Tecnólogo Médico al momento de administrar el radiotrazador en Cintigramas Óseos y Perfusiones Miocárdicas en el Hospital Clínico Viña del mar”, que se llevará a cabo en el Servicio de Medicina Nuclear del Hospital Clínico, ubicado en calle Limache 1741, Viña del Mar, Región de Valparaíso.

He leído la información proporcionada en este documento, me han informado y explicado cuáles son los procedimientos del estudio y en qué consistirá mi participación. Entiendo que se me observará durante los exámenes llamados “Cintigrama óseo” y “Perfusión miocárdica”, los cuales requieren que se administre una dosis de radiación vía intravenosa al paciente, y que debido a lo anterior me veré expuesto(a), sin que esto conlleve una cantidad de dosis adicional a la requerida por el examen. Comprendo que esta investigación necesita de mis siguientes datos personales: nombre, rut, edad, sexo, lugar de trabajo y dosimetría a nivel de sus cristalinos.

He tenido la oportunidad de hacer preguntas y aclarar todas mis dudas con las estudiantes tesisistas. Entiendo que poseo el derecho de revocar mi consentimiento sin que esta decisión pueda ocasionarme algún perjuicio.

De acuerdo a lo declarado por mí en este documento, firmo aceptando voluntariamente mi participación en la investigación:

-----  
Nombre y Firma Participante

C.I.:

Fecha:

-----  
Nombre y Firma Investigador Responsable

C.I.:

Fecha:

-----  
Nombre y Firma Director del Establecimiento o su Delegado

C.I.:

Fecha:

Valparaíso,.....de ..... de 201...